

# **REDISEÑO DE LA RED CONTRA INCENDIO DE LOS DOS BARRIOS DEL OCCIDENTE DEL MUNICIPIO DE ENVIGADO CON MENOR COBERTURA ANTE EVENTOS DE FUEGO**

**MARIA ISABEL PAJÓN NARANJO**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Civil**

**JÓSE JAVIER JARAMILLO MONSALVE**

**Magíster en recursos hidráulicos**

**Universidad Nacional**



**UNIVERSIDAD EIA  
INGENIERÍA CIVIL  
ENVIGADO  
2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por permitirme desarrollar mi carrera profesional y darme unos excelentes padres que me brindan un apoyo incondicional.

A mis padres por su esfuerzo, paciencia y motivación permanente para que lograra formarme en la Universidad EIA como ingeniera civil.

Al ingeniero José Javier Jaramillo Monsalve, Gerente de Ingeniería Hidráulica y Civil por dirigir este trabajo de grado, apoyar y ayudar en su desarrollo con su acompañamiento y conocimiento.

A los ingenieros de Empresas Públicas de Medellín por brindarme la información primaria necesaria para desarrollar este trabajo de grado y el tiempo dedicado para aportar a mi formación profesional.

# CONTENIDO

	pág.
1. PRELIMINARES.....	11
1.1 Planteamiento del problema .....	11
1.2 Objetivos del proyecto .....	12
1.2.1 Objetivo General.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos .....	12
1.3 Marco de referencia.....	12
1.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS.....	13
1.5 CRITERIOS DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS.....	18
1.5.1 Criterios de diseño asociados a los hidrantes según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS.....	18
1.5.2 Criterios de diseño asociados a los hidrantes según las Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.....	21
1.5.3 Criterios de diseño asociados a los hidrantes según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente .....	22
2. METODOLOGÍA.....	24
2.1 ETAPA 1: SELECCIÓN DE BARRIOS CON MENOR COBERTURA .....	24
2.1.1 Recolección de la información primaria .....	24
2.1.2 Estudio de cobertura .....	24
2.2 ETAPA 2: DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO.....	24
2.2.1 Modelación en EPANET .....	24
2.2.2 Visitas de campo .....	25
2.3 ETAPA 3: MEJORAMIENTO DE LA RED CONTRA INCENDIO.....	25
2.4 ETAPA 4: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	25

2.4.1	Elaboración del plan de implementación de mejoras en la red .....	25
2.4.2	Costos para el plan de implementación .....	26
2.5	ETAPA 5: SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA RED CONTRA INCENDIO .....	26
3.	SELECCIÓN DE BARRIOS CON MENOR COBERTURA .....	27
3.1	Distancia entre hidrantes .....	27
3.2	Análisis de cobertura .....	39
4.	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO .....	43
4.1	Color de los hidrantes .....	48
4.2	Diametro de los hidrantes .....	50
4.3	Capacidad hidráulica .....	51
4.4	Presión en los hidrantes .....	64
4.5	Norma sismoresistente .....	66
4.6	Visitas de campo .....	70
5.	MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO .....	75
5.1	Instalación de hidrantes .....	75
5.2	Mejoras en la red contra incendio .....	76
6.	PLAN DE IMPLEMENTACION .....	83
6.1	Instalación Y sustitución de hidrantes .....	83
6.2	Instalación y sustitución de Tuberías .....	88
6.3	Costo plan de implementación .....	92
7.	PLAN DE SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO .....	95
8.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES .....	98
	BIBLIOGRAFÍA .....	100

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Nivel de complejidad del sistema de acueducto. Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010. ....	19
Tabla 2. Diámetros mínimos de los hidrantes contra incendios. Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010. ....	19
Tabla 3. Presión mínima en los hidrantes. Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010. ....	20
Tabla 4. Relación entre número de hidrantes y área. ....	23
Tabla 5. División zonal de Envigado. Fuente: Diagnóstico zonal, Oficina Asesora de Planeación. ....	28
Tabla 6. Coordenadas empleadas para la georreferenciación de la imagen en ArcGIS... ..	29
Tabla 7. Distancia entre hidrantes, barrio Bosque de Zúñiga. Fuente: Propia. ....	31
Tabla 8. Distancia entre hidrantes, barrio Villagrande. Fuente: Propia. ....	32
Tabla 9. Distancia entre hidrantes, barrio San Marcos. Fuente: Propia. ....	32
Tabla 10. Distancia entre hidrantes, barrio Jardines. Fuente: Propia. ....	33
Tabla 11. Distancia entre hidrantes, barrio Alcalá. Fuente propia. ....	33
Tabla 12. Distancia entre hidrantes, barrio El Portal. Fuente: Propia. ....	34
Tabla 13. Distancia entre hidrantes, barrio Primavera. Fuente: Propia. ....	35
Tabla 14. Distancia entre hidrantes, barrio Las Casitas. Fuente: Propia. ....	35
Tabla 15. Distancia entre hidrantes, barrio Milán Vallejuelos. Fuente: Propia. ....	36
Tabla 16. Distancia entre hidrantes, barrio Las Vegas. Fuente: Propia. ....	37
Tabla 17. Distancia entre hidrantes, barrio Las Vegas. Fuente: Propia. ....	38
Tabla 18. Porcentaje de hidrantes que no cumplen sobre el total de hidrantes en cada barrio. ....	39
Tabla 19. Porcentaje de cobertura de los hidrantes en cada barrio. Fuente: Propia. ....	41

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

Tabla 20. Hidrantes zona de estudio. Fuente: Empresas Públicas de Medellín, 2016. ....	47
Tabla 21. Hidrantes que no cumplen criterio: Relación color-caudal. ....	49
Tabla 22. Resultado de la revisión de los diámetros mínimos en el RAS y la norma de EPM. ....	50
Tabla 23. Coeficientes de descarga típicos. Fuente: (BOTTA, 2011). ....	55
Tabla 24. Evaluación criterio de capacidad mínima establecida por el RAS y la norma de EPM. ....	56
Tabla 25. Velocidades máximas según material de tuberías. Fuente: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010) .....	58
Tabla 26. Evaluación de la presión en los hidrantes. ....	58
Tabla 27. Evaluación del rango de velocidades permitidas por el RAS. ....	61
Tabla 28. Evaluación de 4 hidrantes funcionando simultáneamente. ....	62
Tabla 29. Evaluación presión mínima en los hidrantes en condiciones de caudal máximo horario, QMH. ....	65
Tabla 30. Relación entre número de hidrantes y área. ....	66
Tabla 31. Evaluación de edificaciones especiales según la Norma Sismo Resistente 2010. ....	68
Tabla 32. Registro fotográfico de las visitas de campo realizadas. ....	70
Tabla 33. Instalación de hidrantes nuevos y mejoramiento de su capacidad. ....	76
Tabla 34. Cambios en las tuberías de los hidrantes existentes cerca de los accesos de las edificaciones especiales. ....	77
Tabla 35. Cambios en el diámetro de los hidrantes que no cumplen criterio del RAS. ....	78
Tabla 36. Mejoras en el sistema contra incendio para cumplir el caudal mínimo estipulado por el RAS. ....	78
Tabla 37. Cambios en las tuberías que abastecen los hidrantes para cumplir presión mínima del RAS: .....	79
Tabla 38. Resultados obtenidos de las mejoras realizadas en la red contra incendio de los barrios estudiados. ....	79

Tabla 39. Mejoramiento de la capacidad hidráulica establecida por la Norma Sismo Resistente Colombiana.....	81
Tabla 40. Análisis de costo de instalación de hidrante nuevo de 100 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.....	85
Tabla 41. Análisis de costo de instalación de hidrante nuevo de 150 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.....	86
Tabla 42. Análisis de costo de sustitución de hidrante de 75 mm a 100 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.....	87
Tabla 43. Análisis de costo de sustitución de hidrante de 75 mm a 150 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.....	87
Tabla 44. Pliego de condiciones. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.....	88
Tabla 45. Análisis de costo de reemplazo de tubería de 150 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.....	89
Tabla 46. Análisis de costo de instalación de tubería de 100 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.....	90
Tabla 47. Análisis de costo de instalación de tubería de 200 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.....	90
Tabla 48. Análisis de costo de sustitución de tubería conectada a la red de distribución por nueva de 150 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f. ..	91
Tabla 49. Análisis de costo de sustitución de tubería conectada a la red de distribución por nueva de 100 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f. ..	91
Tabla 50. Análisis de costo de sustitución de tubería conectada a la red de distribución por nueva de 200 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f. ..	92
Tabla 51. Costo del plan de implementación propuesto.....	92
Tabla 52. Resumen costos del plan de implementación para mejorar la red contra incendios de los barrios estudiados. ....	94

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Presión residual en hidrantes. Fuente: “Prueba de caudal en hidrantes”, 2009. .....	15
Ilustración 2. Usos del suelo en los barrios estudiados. Fuente: Propia. ....	30
Ilustración 3. Ejemplo del empleo de la herramienta Measure entre hidrantes más cercanos. .....	31
Ilustración 4. Áreas cubiertas por los hidrantes en los barrios estudiados. ....	42
Ilustración 5. Sistema interconectado de acueducto Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Fuente: Empresas Públicas de Medellín, s.f. ....	44
Ilustración 6. Presiones modelo en Epanet del circuito El Dorado. Fuente: Empresas Públicas de Medellín, 2016. ....	46
Ilustración 7. Representación de la teoría de chorros libres. Fuente: (Mejía Garcés, 2009) .....	52
Ilustración 8. Curva de demanda circuito El Dorado. ....	56
Ilustración 9. Zona en barrio Alcalá sin cobertura según la NSR-10. ....	67
Ilustración 10. Barrio Las Vegas, circuito El Dorado. ....	68
Ilustración 11. Modelo del circuito El Dorado con mejoras en la red contra incendios a la hora de mayor consumo. ....	82
Ilustración 12. Partes de un hidrante. Fuente: ASEPEYO, s.f. ....	84
Ilustración 13. Husillo de accionamiento de la válvula de un hidrante. Fuente: ASEPEYO, s.f. ....	97



## RESUMEN

La función real de un sistema contra incendio es permitir que se atienda un evento de fuego con el abastecimiento de agua que sea necesaria para su completa extinción. En el municipio de Envigado se cuenta con dicha red, pero se desconoce si a la hora de un incidente esta funcione adecuadamente y si toda la población se encuentra protegida ante un evento de esta índole. Por tanto, no se puede asegurar que con el sistema actual se evitan grandes daños materiales y lo más importante, pérdida de vidas humanas.

Lo mencionado anteriormente promueve a que se desarrolle este trabajo de grado, el cual tiene como objetivo principal evaluar el estado de la red contra incendio de los dos barrios con menor cobertura ante un evento de fuego del municipio de Envigado empleando modelación hidráulica, lo cual permitirá analizar si el sistema de atención a incendios cumple con las especificaciones presentadas por las normas que lo regulan y proponer una solución para que se cubra completamente el área comprendida por los dos barrios estudiados.

Los parámetros que se emplearán para medir la eficiencia de la red contra incendio serán la presión y el caudal que los hidrantes proporcionan en condiciones residuales. Se eligieron estos porque son los elementos que aseguran que un sistema hidráulico está funcionando para lo que fue diseñado adecuadamente.

**Palabras clave:** Red contra incendios, hidrantes.

## ABSTRACT

The real function of a fire protection system is to allow that in a fire event the system served with the necessary water supply for its complete extinction. Envigado has that system, but It is unknown if the system will work in an incident and if the people will be protected in the face of this type of event. For that reason it does not ensure that the fire protection system can avoid property damage and the most important, the loss of human life.

As mentioned before promote the development of this thesis, which has as major aim to evaluated the state of the fire protection system in the two neighborhoods with lowest coverage in the face of a fire event in the municipality of Envigado, using hydraulic modelation. This allows to analyze the fulfilment of the rules that regulate the fire protection system and this propose one solution for covering completely the area of the two neighborhoods studied.

The parameters that will be used for measuring the efficacy of the fire protection system will be the pressure and the flow that the hidrants gives in residual conditions. Those was selected because they are the elements that ensures correct operation of a hydraulic system.

**Keywords:** Fire protection system, hydrants.

# **1. PRELIMINARES**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Para la eficacia de extinción y control de un incendio es indispensable un sistema hidráulico que proporcione un caudal de agua mínimo de 32 L/s y una presión mínima de 20 m.c.a. (196 kPa) (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013). En el municipio de Envigado, ubicado en el departamento de Antioquia (Colombia), el Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Envigado que buscan prevenir y atender todos los accidentes en el municipio, no conocen si la red cumple estas condiciones y por tanto no saben si realmente se podrá cubrir un incidente antes de que la infraestructura atendida falle (Bomberos de Envigado, 2015).

Adicionalmente no se han encontrado estudios que hayan evaluado y demostrado que la infraestructura contra incendios que se tiene en el municipio es suficiente para cubrir toda el área. Por lo que se vuelve relevante analizar la capacidad de cubrimiento de la red que atiende estos incidentes y las condiciones en las que se encuentra funcionando. Por otro lado, los bomberos no tienen comunicación con la entidad prestadora del servicio de agua que permite el funcionamiento de los hidrantes y no conocen siquiera su ubicación (Bomberos de Envigado, 2015).

Viendo que lo mencionado anteriormente pone en riesgo la infraestructura y hasta la vida de la población que habita en el municipio, se plantea evaluar la red contra incendios que cubre el circuito de acueducto de los dos barrios más desprotegidos ubicados en el occidente del municipio de Envigado, bajo la normatividad de EPM, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, y la NSR-10, y proponer una redistribución de los hidrantes para cumplir las especificaciones de la norma y lograr cubrir completamente las zonas sin protección en los barrios estudiados.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Rediseñar la red contra incendios de los dos barrios con menor cobertura ante una ocurrencia de fuego ubicados en el occidente del municipio de Envigado, cumpliendo las especificaciones de EPM y la normatividad RAS y NSR-10.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar los dos barrios más desprotegidos del occidente del municipio de Envigado mediante los datos proporcionados por EPM y la herramienta ARCGIS.
- Diagnosticar el sistema contra incendio con base en los requisitos de diseño de EPM, la normatividad RAS y NSR-10, por medio de visitas de campo y el uso de la herramienta EPANET.
- Diseñar las acciones necesarias para cumplir con el nivel de servicio demandado por las normas RAS y NSR-10.
- Diseñar el plan de implementación necesario para llevar a cabo las mejoras en la red contra incendio, incluyendo los costos involucrados.
- Establecer el plan de seguimiento y ajuste para la red contra incendio propuesta.

## **1.3 MARCO DE REFERENCIA**

### **Introducción**

Este trabajo se desarrollará en compañía del Cuerpo de Bomberos Voluntarios del municipio de Envigado, el cual se encuentra ubicado en el sur oriente del Valle de Aburrá que dista 418 Kilómetros de Bogotá D.C. y 10 km de Medellín, su territorio tiene un área total de 78.21 km<sup>2</sup> discriminados en 12.25 km<sup>2</sup> de zona urbana y 65.95 km<sup>2</sup> de zona rural. Cuenta al 2015 con 222.410 habitantes -proyección a partir de censo DANE 2005- asentados en 39 barrios y 6 veredas (Alcaldía de Envigado, s.f.)

El Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Envigado, institución fundada en 1995, “es una entidad sin ánimo de lucro cuyo objetivo principal es el de prevenir y atender todas emergencias que se presenten dentro de su jurisdicción buscando proteger la vida de los habitantes, sus bienes, sus industrias y el medio ambiente” (Palacio, 2005).

Su misión es proteger la vida, preservar el medio ambiente y los bienes de la comunidad; mediante la prevención, atención y mitigación de los incendios, urgencias, emergencias y desastres con efectividad y ética. Además de propender por el incremento de la cobertura, el desarrollo tecnológico y profesional. (Palacio, 2005)

Se proyectan “como una institución especializada en la prevención de riesgos y atención de desastres, reconocida a nivel nacional por la solidez de su organización, la calidad de sus servicios, la implementación de tecnología y el compromiso de sus integrantes, cuyo principio fundamental es ser efectivos, sirviendo con profesionalismo e incrementando el respaldo de su comunidad” (Palacio, 2005).

Sus principios son: Honor, Disciplina, Seguridad, Efectividad, Dinamismo y Solidez, y su lema: “Valor, Abnegación, Disciplina”. Se rigen además por los valores de Seguridad Integral, Excelencia, Servicio, Progreso y Honor. (Palacio, 2005)

#### **1.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS**

“Un sistema contra incendio es el conjunto de elementos necesarios para transportar y proyectar agua desde una fuente de abastecimiento hasta el lugar del fuego para la extinción del mismo” (Castillo Cuevas, Tedde, Martínez Vidal, & Segura Gutiérrez, 2010). “El propósito de dicha red es proteger la vida y la propiedad a través de la instalación de tuberías, hidrantes, válvulas, accesorios y en ocasiones bombas” (Vera Sarmiento, 2010).

Empresas Públicas de Medellín (EPM) es la entidad que se encarga de prestar los servicios de acueducto y alcantarillado al municipio de Envigado, donde se encuentran ubicados los barrios que se estudiarán en este trabajo. A estas redes se conecta el sistema hidráulico contra incendios, por lo cual si se requiere evaluar la capacidad de

cubrimiento total del área de estudio que éste tiene, es necesario estudiar las condiciones en las cuales se encuentra funcionando el circuito de la red de acueducto al cual se conectan los barrios.

### **Redes de distribución**

La red de distribución es el conjunto de tuberías destinadas al suministro en ruta de agua potable a las viviendas y demás establecimientos municipales, públicos y privados. Estas redes parten de los tanques de almacenamiento y/o compensación e incluyen además de los tubos, nodos, válvulas de control, válvulas reguladoras de presión, ventosas, hidrantes, acometidas domiciliarias y otros accesorios necesarios para la correcta operación del sistema (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013).

### **Hidrantes**

“Los Hidrantes son dispositivos hidráulicos que suministran gran cantidad de agua en poco tiempo. Permite la conexión de mangueras y equipos de lucha contra incendios, así como el llenado de las cisternas de agua de los bomberos” (EXPOWER, s.f.).

“Se conectan y forman parte de la red de agua específica de protección contra incendios del establecimiento a proteger o de las redes de agua de uso público en las ciudades” (EXPOWER, s.f.). Sus funciones básicas son:

- Permitir la conexión de mangueras que facilitarán la extinción de incendios en las propias instalaciones o en las colindantes.
- Suministrar agua a los vehículos contra incendio.

### **Componentes del hidrante**

Un hidrante se compone principalmente de ("Extinción de Incendios: Hidrantes", s.f.):

- Cabeza: parte que sobresale al exterior y donde se disponen las tomas.
- Cuerpo de la Válvula: parte inferior del hidrante que se fija a la tubería de suministro de agua.

- Carrete: Pieza que se acopla entre la cabeza y el cuerpo de la válvula mediante bridas.
- Válvula principal: mecanismo que sirve para interrumpir o permitir el paso de agua al cuerpo superior.
- Tomas: Aberturas circulares perforadas en la cabeza del hidrante y equipadas con racores. Pueden ser de 45 mm, 70 mm, 100 mm.
- Fanal: Protección superficial del hidrante contra el vandalismo y la intemperie.

### **Presión estática en los hidrantes**

“Presión de la red medida en cualquier hidrante sin movimiento de agua” (Morgado Durán, 2009).

### **Presión residual en los hidrantes**

“Presión de la red cuando se abre uno o más hidrantes en las condiciones nominales de caudal (con el hidrante a su máximo caudal)” (Morgado Durán, 2009).



**Ilustración 1. Presión residual en hidrantes. Fuente: “Prueba de caudal en hidrantes”, 2009.**

### **Tuberías**

“Conducto formado de tubos por donde se lleva el agua, los gases, combustibles, entre otros” (Real Academia Española, s.f.). “En la red de tuberías se admiten como la fundición dúctil y el acero, convenientemente protegido frente a la corrosión exterior, como el acero galvanizado. Aunque se pueden emplear otros materiales, como el PVC y el concreto” (Castillo Cuevas, Tedde, Martínez Vidal, & Segura Gutiérrez, 2010).

## **Accesorios**

Los accesorios son elementos complementarios para la instalación de las tuberías, e incluyen uniones, codos, reducciones, tees, válvulas, anclajes, etc. “Las tuberías y los accesorios deben ser compatibles entre sí, con respecto a presiones de trabajo, dimensiones (diámetros, espesores, sistemas de unión) y a estabilidad electroquímica si se trata de materiales metálicos diferentes” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

## **Bomba**

“Su función es suministrar el caudal de agua necesario a la presión suficiente que precise la instalación, en cada uno de los puntos de suministro” (Castillo Cuevas, Tedde, Martínez Vidal, & Segura Gútierrez, 2010)

Las bombas se incluyen en un sistema de tuberías para convertir energía mecánica en energía hidráulica. Esta energía adicional permite transmitir un fluido de un lugar a otro cuando no es factible que fluya por gravedad, elevarlo a cierta altura sobre la bomba o recircularlo en un sistema cerrado. (Mejía Garcés, 2009).

## **Tipos de bombas**

Todos los tipos de bombas pueden ser clasificados en dos categorías principales: las bombas rotodinámicas y las bombas de desplazamiento positivo” (Mejía Garcés, 2009).

### **Bombas rotodinámicas**

“Constan de un elemento rotor o rodete el cual imparte velocidad al fluido generando presión. Pueden ser centrífugas, de flujo axial, de flujo mixto y multietapas” (Mejía Garcés, 2009).

### **Bombas de desplazamiento positivo**

“Funcionan como el resultado de cambios volumétricos en la bomba. Los ejemplos más comunes de este tipo de bomba son las bombas de pistón en las cuales el pistón desplaza un volumen dado de fluido con cada golpe” (Mejía Garcés, 2009).



## Válvulas

Es una pieza mecánica usada para modificar el flujo que pasa a través de ella. La acción de la válvula es causada por el movimiento de cierre de un elemento (puede ser una bola, puerta, disco, tapón, etc.) protegiendo la tubería y las bombas de la sobrepresurización, ayudando a prevenir flujos contrarios en las bombas y remover aire en estas. (Viana, s.f.)

### Tipos de válvulas

**Válvulas de Control:** es cualquier válvula que sirva para regular el estado del flujo a través de la tubería. Las válvulas de control son interesantes por su uso en flujos sin crear exceso de cavitación o pérdidas de cabeza y pueden ser usadas en cualquier condición de flujo (Viana, s.f.).

**Válvulas de Compuerta.** Este tipo de válvula posee un cuerpo totalmente encerrado con un disco o puerta de forma rectangular o circular, la cual se mueve perpendicular a la dirección del flujo. La válvula de compuerta supera en número a los otros tipos de válvulas en servicio en donde se requiere circulación interrumpida y poca caída de presión. (Viana, s.f.)

**Válvulas de Cono, Bola y Macho.** Estos tres tipos de válvulas son similares en su función; la parte móvil de la válvula es generalmente en forma cónica con un agujero a través de la válvula por el cual el fluido atraviesa. Cuando la válvula no se encuentra abierta completamente existen dos puntos de regulación, uno en la entrada y otro en la salida, esta característica da a la válvula de cono mejores características que la válvula de puerta y de mariposa. (Viana, s.f.)

**Válvulas de Globo.** Este estilo de válvulas son ampliamente utilizadas tanto con control manual como con control automático. El flujo normal es de izquierda a derecha pero esta válvula puede operar en reversa. Con el cambio del tipo de control una válvula de globo puede mantener constante la presión de entrada, la presión de salida, la rata de flujo, actúa como un controlador de la presión y de posibles oleajes en la tubería. (Viana, s.f.)

## 1.5 CRITERIOS DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS

Los criterios de diseño para un sistema contra incendios son: presión, caudal, localización de los hidrantes, los diámetros de las tuberías, entre otros. En Colombia, estos criterios están definidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, por EPM, quien es el prestador de servicios de agua y alcantarillado para el municipio de Envigado y por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.

En cuanto al color de los hidrantes, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, las normas de diseño de EPM y la NSR-10 especifican que la parte superior del hidrante se debe pintar de acuerdo con su caudal y siguiendo normas internacionales, tal como se establece a continuación:

- Rojo: Caudales hasta 32 L/s.
- Amarillo: Caudales entre 32 y 63 L/s.
- Verde: Caudales superiores a 63 L/s.

### 1.5.1 Criterios de diseño asociados a los hidrantes según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS

#### Capacidad hidráulica de los hidrantes

Para los niveles de complejidad del sistema alto, en áreas comerciales, industriales o residenciales con una densidad superior a 200 habitantes por hectárea, los hidrantes deben tener una capacidad mínima de 32 L/s. Para los demás niveles de complejidad del sistema, en áreas comerciales, industriales o residenciales con una densidad superior a 200 habitantes por hectárea, los hidrantes deben tener una capacidad mínima de 20 L/s. Para las demás áreas del municipio la capacidad mínima de los hidrantes debe ser de 5 L/s. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)

Para la definición del nivel de complejidad se emplea la siguiente tabla:

**Tabla 1. Nivel de complejidad del sistema de acueducto. Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010.**

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
<b>Bajo</b>	< 2,500	Baja
<b>Medio</b>	2,501 a 12,500	Baja
<b>Medio alto</b>	12,501 a 60,000	Media
<b>Alto</b>	>60,000	Alta

### **Diámetro de los hidrantes**

“Los diámetros mínimos de los hidrantes contra incendios, colocados en la red de distribución de agua potable, dependen del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica en la siguiente tabla” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

**Tabla 2. Diámetros mínimos de los hidrantes contra incendios. Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010.**

Nivel de Complejidad del Sistema	Diámetro mínimo
<b>Bajo y Medio</b>	75 mm
<b>Medio Alto</b>	75 mm En zonas residenciales con densidades menores a 200 Hab/Ha.  100 mm En sectores comerciales e industriales o zonas residenciales con alta densidad

### **Número y distancia máxima entre hidrantes**

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, en los barrios de estratos 3, 4, 5 y 6 debe colocarse un hidrante por lo menos cada 200 m. En las zonas con bloques multifamiliares debe colocarse un hidrante por lo menos cada 150 m. Mientras que en las zonas industriales y comerciales de alto valor debe ponerse un hidrante en cada bocacalle y a una distancia no mayor que 100 m. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)

## Presión en los hidrantes

**Tabla 3. Presión mínima en los hidrantes. Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010.**

Nivel de complejidad	Presión mínima
<b>Bajo y medio, para zonas residenciales</b>	29.43 kPa (3 m.c.a.)  La presión requerida para combatir el incendio podrá ser suministrada por el equipo de bombeo propio de los carros del cuerpo de bomberos
<b>Medio alto y alto</b>	98.1 kPa (10 m.c.a.)
<b>Zonas comerciales e industriales</b> <b>Zonas residenciales con edificios multifamiliares</b>	196 kPa (20 m.c.a.)

“La presión máxima de trabajo de los hidrantes debe ser de 980 kPa (100 m.c.a.) y deben soportar una presión de prueba de 1960 kPa (200 m.c.a.)” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

## Mantenimiento de los hidrantes

Para el mantenimiento de los hidrantes debe tenerse en cuenta lo establecido en el Artículo 77 de la Ley 9 de 1979, o la norma que la adicione, modifique o sustituya, el cual establece: “Los hidrantes y extremos muertos de la red de distribución de agua deben abrirse con la frecuencia necesaria para eliminar sedimentos. Periódicamente debe comprobarse que los hidrantes funcionen adecuadamente”. De acuerdo con este artículo, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010):

- Para el nivel de complejidad del sistema bajo, los hidrantes deben revisarse una vez cada año.
- Para el nivel de complejidad del sistema medio, los hidrantes deben revisarse una vez cada seis meses.

- Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, los hidrantes deben revisarse una vez cada tres meses. La revisión de los hidrantes debe ser hecha por la persona prestadora del servicio público de acueducto.

En el caso del nivel de complejidad del sistema alto, y haciendo uso del modelo de simulación hidráulica de la red de distribución de agua potable, se debe establecer un programa en el cual se diga la hora del día en la cual la apertura de hidrantes y la limpieza de zonas muertas es óptima para establecer simultáneamente el tiempo de duración de la apertura y el tiempo de lavado de esta zona de la red de distribución. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)

### **1.5.2 Criterios de diseño asociados a los hidrantes según las Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P**

#### **Capacidad hidráulica de los hidrantes**

La demanda mínima contra incendios debe estimarse teniendo en cuenta las siguientes especificaciones: para zonas residenciales densamente pobladas (150 habitantes por hectárea o mayor) o multifamiliares, comerciales e industriales de los municipios atendidos por las Empresas Públicas de Medellín, un incendio debe ser servido por 4 hidrantes de uso simultáneo. Las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidas por 2 hidrantes en uso simultáneo. En ambos casos la capacidad mínima debe ser de 10 L/s por hidrante (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013).

La capacidad hidráulica mínima de los hidrantes debe ser 32 L/s (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013).

#### **Diámetros nominales mínimos de hidrantes**

Para EPM los diámetros nominales mínimos de los hidrantes contra incendios se deben restringir según las tuberías usadas en la red de distribución de agua. Así, para tuberías de hasta 150 mm, los hidrantes deben ser de 75 mm y 100 mm. Y para hidrantes de 150 mm de diámetro se deben instalar en tuberías de 150 mm de diámetro y mayores. (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013)

### **Distancia máxima entre hidrantes**

Este requisito sigue los mismos parámetros manejados por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS.

### **Presión en los hidrantes**

“El diseño de la red de distribución debe garantizar, que para las condiciones del Caudal Máximo Horario QMH, proyectado al período de diseño de la red de distribución, la presión mínima en los hidrantes debe ser 20 m.c.a. (196 kPa)” (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013).

Con respecto a las presiones de trabajo, “la presión mínima de trabajo de los hidrantes debe ser de 108 m.c.a. (1060 KPa) y deben soportar una presión de prueba de 216 m.c.a. (2120 KPa)” (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013).

### **Mantenimiento de los hidrantes**

Se presentan los mismos requisitos expuestos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS.

### **1.5.3 Criterios de diseño asociados a los hidrantes según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente**

Debe instalarse, por lo menos, un hidrante para cada cantidad de área especificada en la siguiente tabla. Cada hidrante debe tener suministro permanente de agua y debe tener, por lo menos, el caudal especificado en la misma tabla. Para edificaciones no listadas en la tabla, debe proveerse por lo menos un hidrante cada 5000 m<sup>2</sup> de área construida. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

**Tabla 4. Relación entre número de hidrantes y área.**

Edificación	Área / hidrante, m <sup>2</sup>	Caudal / hidrante, L/s
Edificios cuya altura de evacuación descendente sea más de 28 metros o ascendente de más de 6 metros.	500	32
Cines, teatros, auditorios y discotecas.	500	63
Recintos deportivos.	500	63
Locales comerciales.	1 000	63
Estacionamientos.	1 000	63
Hospitales	500	63
Residencias	5 000	32
Atención al público	500	63
Educación	1 000	63
Almacenamiento	500	63

Por lo menos un hidrante debe estar situado a no más de 100 m de distancia de un acceso al edificio. Los demás deberán estar razonablemente repartidos por el perímetro de la edificación y ser accesibles para los vehículos del servicio del cuerpo de bomberos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 ETAPA 1: SELECCIÓN DE BARRIOS CON MENOR COBERTURA**

#### **2.1.1 Recolección de la información primaria**

La información primaria que se compone de los planos que incluyen la red de acueducto y la ubicación de los hidrantes del municipio de Envigado será brindada por Empresas Públicas de Medellín.

#### **2.1.2 Estudio de cobertura**

Con la información primaria se realizará un análisis de cobertura con las distancias mínimas que tiene que existir entre hidrantes, estipuladas por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, y empleando la herramienta ARCGIS 10.2.1. La red contra incendio se trabajará en el sistema de coordenadas respectivo y se tomarán solamente los circuitos de la parte occidental del municipio de Envigado que incluye los barrios Bosques de Zúñiga, Villagrande, Jardines, Las Vegas, Alcalá, El Portal, Milan Vallejuelos, Primavera, Las Casitas y San Marcos. A esta zona se le realizará geoprocesamiento y dividiendo el área que cubren los hidrantes sobre el área de cada barrio, se identificarán los dos barrios con menor cobertura ante un evento de incendio.

### **2.2 ETAPA 2: DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO**

#### **2.2.1 Modelación en EPANET**

Para el diagnóstico del sistema contra incendio se evaluará si se cumplen los requisitos estipulados por las especificaciones de EPM, la normatividad RAS y la NSR-10, modelando el circuito de la red de distribución de acueducto que surten los hidrantes de la zona de estudio y estos mismos en el programa EPANET.

Para cada uno de los hidrantes que forman parte de la red de distribución se verificarán los siguientes aspectos: caudal, presión a la salida del hidrante cuando se encuentre operando a máximo caudal y el color del hidrante.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA



### **2.2.2 Visitas de campo**

En esta actividad se procederá a evaluar el estado de los hidrantes del área de estudio con visitas de campo acompañadas por el director del trabajo de grado. El entregable de esta etapa será un registro fotográfico, donde se podrá evidenciar la condición de los hidrantes y sí verdaderamente existen dichos elementos en el lugar especificado por EPM.

## **2.3 ETAPA 3: MEJORAMIENTO DE LA RED CONTRA INCENDIO**

Para mejorar la infraestructura que atiende los eventos de incendio en los barrios estudiados se propondrá una solución a cada uno de los problemas que se puedan haber encontrado en el diagnóstico de la red contra incendio con la modelación en EPANET y las visitas de campo, como cambios en los elementos del acueducto que no cumplan con la normatividad evaluada.

El plan de mejoramiento se centrará en garantizar una cobertura total de los barrios que se estudiarán con una ampliación de la red contra incendios, empleando la modelación en EPANET y teniendo en cuenta las condiciones a las que puede funcionar la red y los cambios que se deben realizar por normatividad.

## **2.4 ETAPA 4: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN**

### **2.4.1 Elaboración del plan de implementación de mejoras en la red**

En esta actividad se propondrá un plan de implementación que especifique las alternativas que se pueden llevar a cabo para mejorar la red contra incendios que ya existe y el procedimiento que se debe seguir para realizar una correcta ampliación del sistema para que se garantice una cobertura completa del área de estudio. Como entregable de la actividad se presentará la nueva red contra incendios desde el programa Epanet, mostrando los cambios realizados por problemas encontrados en la modelación y la extensión de la misma.

#### **2.4.2 Costos para el plan de implementación**

Este plan incluirá los costos que generan llevar a cabo las mejoras en el sistema, como instalación de más hidrantes en los barrios y cambios en los elementos que lo componen. Dichos costos se realizarán con la ayuda del director del proyecto, quien conoce el presupuesto que se requiere para construir este tipo de redes.

### **2.5 ETAPA 5: SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA RED CONTRA INCENDIO**

En el plan de mejoramiento se especificará el seguimiento y mantenimiento que se debe cumplir para que la red contra incendio funcione adecuadamente durante su vida útil, tomando como guía las especificaciones sobre mantenimiento de EPM y la normatividad RAS mencionados anteriormente.

### **3. SELECCIÓN DE BARRIOS CON MENOR COBERTURA**

La selección de los dos barrios con menor cobertura se realizó sobre el occidente del municipio de Envigado, donde se tiene una mezcla de zonas residenciales e industriales. En el área elegida se encuentran 10 barrios, Bosques de Zúñiga, Villagrande, Jardines, Las Vegas, Alcalá, El Portal, Milan Vallejuelos, Primavera, Las Casitas y San Marcos.

Se tuvieron en cuenta dos criterios base: la distancia que se presenta entre dos hidrantes cercanos y el área de cobertura de los hidrantes por barrio. Para ambos se emplearon las distancias mínimas estipuladas por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, en los barrios de estratos 3, 4, 5 y 6 debe colocarse un hidrante por lo menos cada 200 m. En las zonas con bloques multifamiliares debe colocarse un hidrante por lo menos cada 150 m. Mientras que en las zonas industriales y comerciales de alto valor debe ponerse un hidrante en cada bocacalle y a una distancia no mayor que 100 m. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)

#### **3.1 DISTANCIA ENTRE HIDRANTES**

Como lo estipula el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, la distancia entre los hidrantes depende del nivel de complejidad del municipio, el estrato del barrio y el uso del suelo. Es muy importante mencionar, que las distancias entre los hidrantes fueron medidas por calles, ya que no es posible que el carro de bomberos que atiende un incendio sea instalado sobre una propiedad.

Envigado se caracteriza por tener una división zonal, sobre la cual desarrolla su plan de ordenamiento territorial y diagnostica las condiciones económicas y sociales de los barrios que componen el municipio. Según estos diagnósticos se logró identificar el estrato de los barrios estudiados, los cuales se encuentran en las zonas 1, 2, 4 y 8, distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla 5. División zonal de Envigado. Fuente: Diagnóstico zonal, Oficina Asesora de Planeación.**

<b>Zona</b>	<b>Barrios estudiados</b>	<b>Estrato</b>
1	Las Vegas	Zona Industrial
2	El Portal, San Marcos, Jardines, Villagrande	65.3% de la población es estrato 5.
4	Bosques de Zúñiga	68% de la población es estrato 5.
8	Las Casitas, Alcalá, Primavera, Milán-Vallejuelos	55,8% de la población es estrato 3.

Como se puede observar, en los barrios estudiados más de la mitad de la población son estrato 3 y 5, por lo que se deben cumplir las distancias mínimas mencionadas anteriormente y establecidas por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS. Adicionalmente, el acueducto de Envigado se encuentra interconectado con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, que según la proyección del DANE para 2016 tiene 3'821.797 habitantes, lo que clasifica al sistema como nivel de complejidad alto (DANE, s.f.).

Con la ubicación de los hidrantes en el municipio de Envigado suministrado en un shape por Empresas Públicas de Medellín y el mapa de Envigado con los barrios se geoprocesó la información, obteniendo un shape con los hidrantes ubicados en los barrios estudiados en coordenadas MAGNA\_Medellin\_Antioquia\_2010. Posteriormente, se obtuvo un shape con los usos del suelo del área estudiada realizando el siguiente procedimiento:

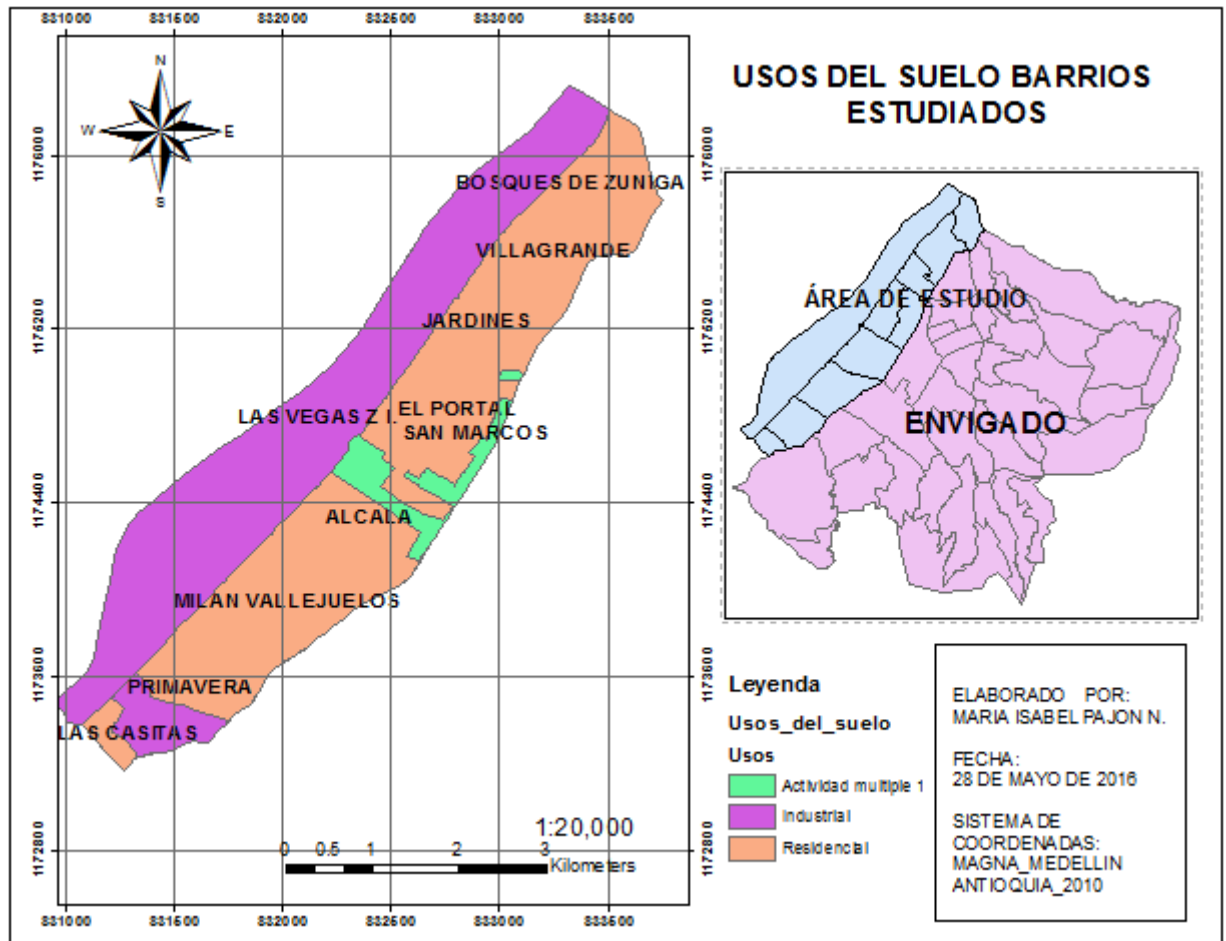
1. Se georreferenció el mapa de Usos Principales del Suelo Urbano, obtenido del POT del municipio (Oficina Asesora de Planeación, 2011). Este procedimiento se desarrolló haciendo uso de la cuadrícula que presenta el mapa. Las coordenadas empleadas fueron las siguientes:

**Tabla 6. Coordenadas empleadas para la georreferenciación de la imagen en ArcGIS.**

<b>X</b>	<b>Y</b>
832.500	1'176.000
831.500	1'174.000
835.500	1'173.000
834.500	1'175.000

Es importante considerar que para una correcta georreferenciación los pares de coordenadas (x,y) usados no pueden ser colineales.

2. Como el sistema de coordenadas proyectadas del shape de los hidrantes ubicados en los barrios estudiados y la imagen georreferenciada era MAGNA\_Medellin\_Antioquia2010, se creó un nuevo shape y se dibujaron los polígonos haciendo uso de la división por barrios y la herramienta trace. Los usos del suelo que se encontraron en el área de estudio son presentados en el mapa de la Ilustración 3.



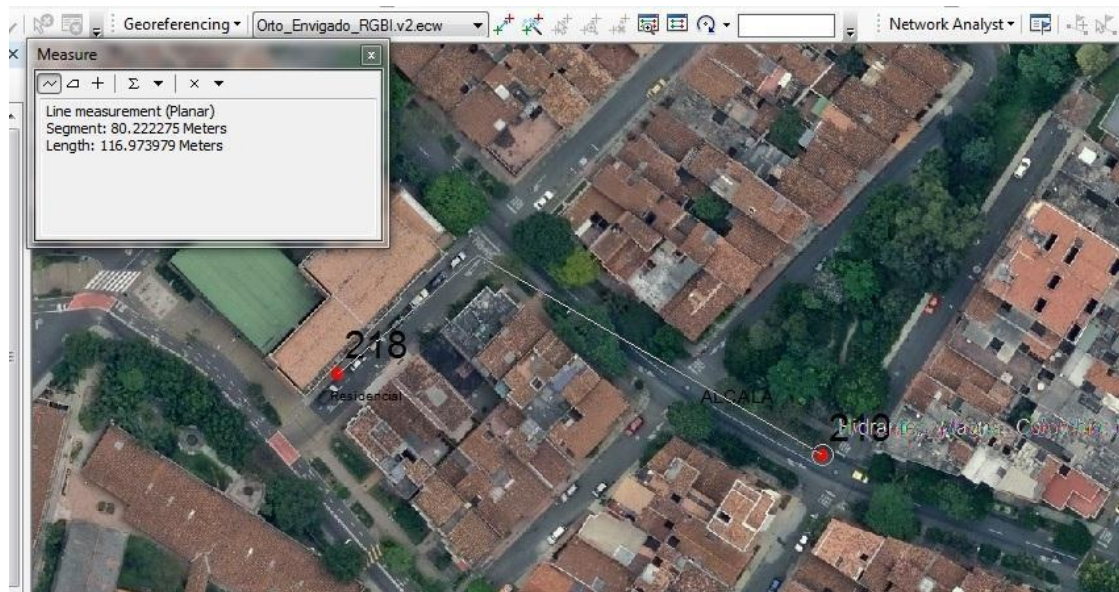
**Ilustración 2. Usos del suelo en los barrios estudiados. Fuente: Propia.**

Las áreas de actividad múltiple 1 son zonas donde se permite la ocupación hasta del cien por ciento (100%) en las caras de la manzana y que se caracterizan por desarrollar actividades comerciales (León Toro, 2011).

3. Se obtuvo una imagen orto del municipio de Envigado en coordenadas MAGNA\_Colombia\_Bogota, por tanto se proyectaron los shape con la información de usos del suelo y los hidrantes de la zona de estudio a dicho sistema de coordenadas.

4. Se midieron las distancias por calles entre los hidrantes más cercanos con la herramienta Measure de ArcGIS 10.2.1, considerando que para zonas residenciales se asumió la condición más crítica, bloques multifamiliares, donde se debe colocar un hidrante por lo menos cada 150 metros y para las áreas de actividad múltiple 1 se empleó una distancia

mínima de 100 metros, ya que como se mencionó anteriormente, son zonas con actividad comercial. A continuación se presenta un ejemplo de cómo fueron medidas estas distancias y los resultados obtenidos por barrio.



**Ilustración 3. Ejemplo del empleo de la herramienta Measure entre hidrantes más cercanos.**

**Tabla 7. Distancia entre hidrantes, barrio Bosque de Zúñiga. Fuente: Propia.**

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Bosques de Zúñiga	283	561	57.3	X		
	624	575	95.22	X		
	575	624	95.22	X		
	282	634	104.04	X		
	634	282	104.04	X		
	497	486	108.13	X		
	561	283	57.3	X		
	423	320	68.28	X		El hidrante más cercano se encuentra en Las Vegas
	508	292	75.23	X		
	292	508	75.23	X		
	486	497	108.13	X		

**Tabla 8. Distancia entre hidrantes, barrio Villagrande. Fuente: Propia.**

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Villagrande	301	314	101.68	X		
	296	298	102.24	X		
	298	296	102.24	X		
	300	353	119.27	X		
	314	301	101.68	X		
	353	420	68.97	X		
	354	353	80.79	X		
	408	409	151.75		X	
	409	599	130.13	X		
	413	409	140.665	X		
	420	353	68.97	X		
	421	293	48.1	X		El hidrante más cercano se encuentra en Las Vegas
	599	409	130.13	X		
	564	290	26.58	X		El hidrante más cercano se encuentra en Las Vegas
	299	301	137.365	X		

**Tabla 9. Distancia entre hidrantes, barrio San Marcos. Fuente: Propia.**

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
San Marcos	563	197	61.36	X		
	197	563	61.36	X		
	311	303	138.99	X		
	498	224	76.77	X		
	224	498	76.77	X		
	250	211	164.15		X	
	251	213	135.48	X		
	252	255	117.47		X	Se encuentra en una zona comercial
	255	252	117.47		X	Se encuentra en una zona comercial
	256	563	94.72	X		
	213	251	135.48	X		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA



**Tabla 10. Distancia entre hidrantes, barrio Jardines. Fuente: Propia.**

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Jardines	297	392	70.38	X		
	392	297	70.38	X		
	364	309	63.75	X		
	303	311	107.53	X		El hidrante más cercano se encuentra en San Marcos
	535	364	89.27	X		
	211	311	143.5		X	El hidrante más cercano se encuentra en San Marcos. Se encuentra en una zona que se caracteriza por ser comercial: 100 m.
	304	311	168.82		X	El hidrante más cercano se encuentra en San Marcos
	309	364	63.75	X		
	313	364	108.72	X		
	302	303	138.99	X		

**Tabla 11. Distancia entre hidrantes, barrio Alcalá. Fuente propia.**

Barrio	Numero de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Alcalá	222	441	72.71	X		Se encuentra ubicado cerca del museo Débora Arango.
	380	504	126.57		X	Se encuentra ubicado cerca del museo Débora Arango.
	403	380	130.04		X	Se encuentra ubicado cerca del museo Débora Arango.
	243	242	45.23	X		
	441	222	72.71	X		
	242	243	45.23	X		
	223	217	147.56	X		
	221	555	109.43		X	Se encuentra ubicado cerca del museo Débora Arango.
	220	189	48.11	X		

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Alcalá	219	218	117.18	X		
	218	219	117.18	X		
	217	218	102.22	X		
	504	380	126.57		X	Se encuentra ubicado cerca del museo Débora Arango.
	190	218	77.93	X		
	241	242	151.99		X	
	555	554	107.79	X		El hidrante más cercano se encuentra en Milán.
	189	220	48.11	X		
						Se encuentra ubicado cerca del museo Débora Arango. El hidrante más cercano se encuentra en Las Vegas.
	199	201	89.54	X		

**Tabla 12. Distancia entre hidrantes, barrio El Portal. Fuente: Propia.**

Barrio	Numero de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
El Portal	295	410	101.44	X		
	210	582	59.02	X		
	209	582	154.4		X	
	208	582	108.67	X		
	207	403	115.45	X		El hidrante más cercano se encuentra en Alcalá.
	410	295	101.44	X		
	203	582	195.52		X	
	582	210	59.02	X		

**Tabla 13. Distancia entre hidrantes, barrio Primavera. Fuente: Propia.**

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Primavera	542	543	126.39		X	Se encuentra en una zona industrial: 100 metros.
	548	502	100.64	X		
	543	542	126.39	X		
	541	152	28.47	X		Se encuentra en una zona industrial: 100 metros. El hidrante más cercano se encuentra en Las Casitas.
	160	545	45.85	X		El hidrante más cercano se encuentra en Milán.
	159	612	65.71	X		
	520	148	135.41		X	Se encuentra en una zona industrial: 100 m.
	147	428	64.28	X		El hidrante más cercano se encuentra en Las Vegas.
	166	151	149	X		
	502	548	100.64	X		
	153	151	179.13		X	Se encuentra en una zona industrial.
	151	166	149		X	Se encuentra en una zona industrial.
	148	140	72.25	X		El hidrante más cercano se encuentra en Las Vegas.
	612	159	65.71	X		
	138	-	-		X	Se encuentra dentro del Polideportivo Sur.

**Tabla 14. Distancia entre hidrantes, barrio Las Casitas. Fuente: Propia.**

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Las Casitas	540	544	27.72	X		Se encuentra en una zona industrial.
	544	540	27.72	X		
	152	541	28.47	X		
	149	540	143.13	X		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

**Tabla 15. Distancia entre hidrantes, barrio Milán Vallejuelos. Fuente: Propia.**

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Milán	546	545	104.54	X		
	158	612	126.31	X		El hidrante más cercano se encuentra en Primavera.
	503	243	56.8	X		El hidrante más cercano se encuentra en Alcalá.
	146	127	153.22		X	
	142	150	189.46		X	
	263	266	87.89	X		
	431	503	78.08	X		
	266	263	87.89	X		
	545	160	44.48	X		El hidrante más cercano se encuentra en Primavera.
	265	154	78.35	X		
	154	127	92.82	X		
	150	160	101.83	X		
	144	145	141.01	X		
	264	265	73.17	X		
	104	553	64.03	X		
	143	142	175.7		X	
	145	144	141.01	X		
	198	263	147.73	X		
	240	242	74.67	X		El hidrante más cercano se encuentra en Alcalá.
	127	154	92.82	X		
	106	241	126.89	X		El hidrante más cercano se encuentra en Alcalá.
	553	104	64.03	X		
	554	220	109.15	X		El hidrante más cercano se encuentra en Alcalá.

**Tabla 16. Distancia entre hidrantes, barrio Las Vegas. Fuente: Propia.**

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Las Vegas	307	620	76.93	X		
	310	538	55.64	X		
	305	288	42.85	X		
	294	410	78.5	X		El hidrante más cercano se encuentra en El Portal.
	585	407	105.21		X	
	244	431	81.13	X		El hidrante más cercano se encuentra en Milán.
	204	205	62.14	X		
	205	204	62.14	X		
	206	205	64.9	X		
	212	206	79.01	X		
	201	199	105		X	El puente de Envigado no permite distancia más corta.
	200	203	83.285	X		
	260	264	141.01	X		
	202	200	164.31		X	
	293	316	70.06	X		
	261	262	184.45		X	
	262	261	184.45		X	
	288	305	42.85	X		
	289	288	125.03		X	
	290	564	26.58	X		El hidrante más cercano se encuentra en Villagrande.
	291	306	99.65	X		
	308	410	55.085		X	El hidrante más cercano se encuentra en El Portal.
	470	482	99.55	X		
	137	516	237.17		X	
	136	480	86.92	X		
	424	620	119.38		X	
	428	147	64.28	X		El hidrante más cercano se encuentra en Primavera.
	595	520	145.84		X	El hidrante más cercano se encuentra en Primavera.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

**Tabla 17. Distancia entre hidrantes, barrio Las Vegas. Fuente: Propia.**

Barrio	Número de hidrante	Hidrante cercano	Distancia por calles (m)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Las Vegas	620	405	47.125	X		
	466	467	99.915	X		
	306	318	85.53	X		
	414	212	116.85		X	
	469	468	102.6		X	
	565	423	184.92		X	
	480	136	86.92	X		
	481	480	94.02	X		
	482	470	99.55	X		
	510	139	123.15		X	
	516	510	147.4		X	
	517	406	103.425		X	
	538	310	55.64	X		
	539	414	115.92		X	
	468	467	99.13	X		
	405	620	47.125	X		
	316	293	70.06	X		
	317	305	162.61		X	
	318	306	85.53	X		
	467	466	99.915	X		
	319	320	80	X		
	320	319	80	X		
	141	147	83.9	X		
	406	517	103.425		X	El hidrante más cercano se encuentra en Primavera.
	139	136	130.03		X	
	140	148	72.25	X		El hidrante más cercano se encuentra en Primavera.
	407	585	105.21		X	

Para la selección de los dos barrios por este criterio se empleó un coeficiente donde se dividieron el número de hidrantes que no cumplían sobre el total de hidrantes en cada barrio. Dicho resultado se multiplicó por 100 para obtener el porcentaje de hidrantes que no cumplen la distancia mínima estipulada por el Reglamento Técnico

del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS. A continuación se presenta la ecuación empleada y los porcentajes obtenidos por barrio.

$$\% \text{ Hidrantes que no cumplen} = \frac{\text{Hidrantes que no cumplen distancia}}{\text{Total de hidrantes}} * 100$$

**Tabla 18. Porcentaje de hidrantes que no cumplen sobre el total de hidrantes en cada barrio.**

Barrio	Hidrantes que no cumplen distancia	Total de hidrantes	Porcentaje (%)
Bosques de Zúñiga	0	11	0
Villagrande	1	15	6.66
Jardines	2	10	20
San Marcos	3	11	27.27
Alcalá	5	18	27.78
El Portal	2	8	25
Primavera	5	15	33.33
Las Casitas	0	4	0
Milán-Vallejuelos	3	23	13.04
Las Vegas	21	55	38.2

Como se puede observar los dos barrios con el mayor porcentaje de hidrantes que no cumplen con la distancia mínima estipulada por el RAS son: Las Vegas con 38.2% y Primavera con 33.33%.

### 3.2 ANÁLISIS DE COBERTURA

Para el segundo criterio, análisis de cobertura, se supuso que un hidrante cubre un área circular con radio igual a la distancia estipulada por el RAS según el uso del suelo donde se ubica dicho elemento.

Teniendo la ubicación de los hidrantes, los barrios estudiados y los usos del suelo en cada barrio en coordenadas MAGNA\_Colombia\_Bogota, se procedió a encontrar los dos barrios con mayor área sin cobertura de la zona de estudio. Para esto se realizó el procedimiento mencionado a continuación, empleando ArcGIS 10.2.1.

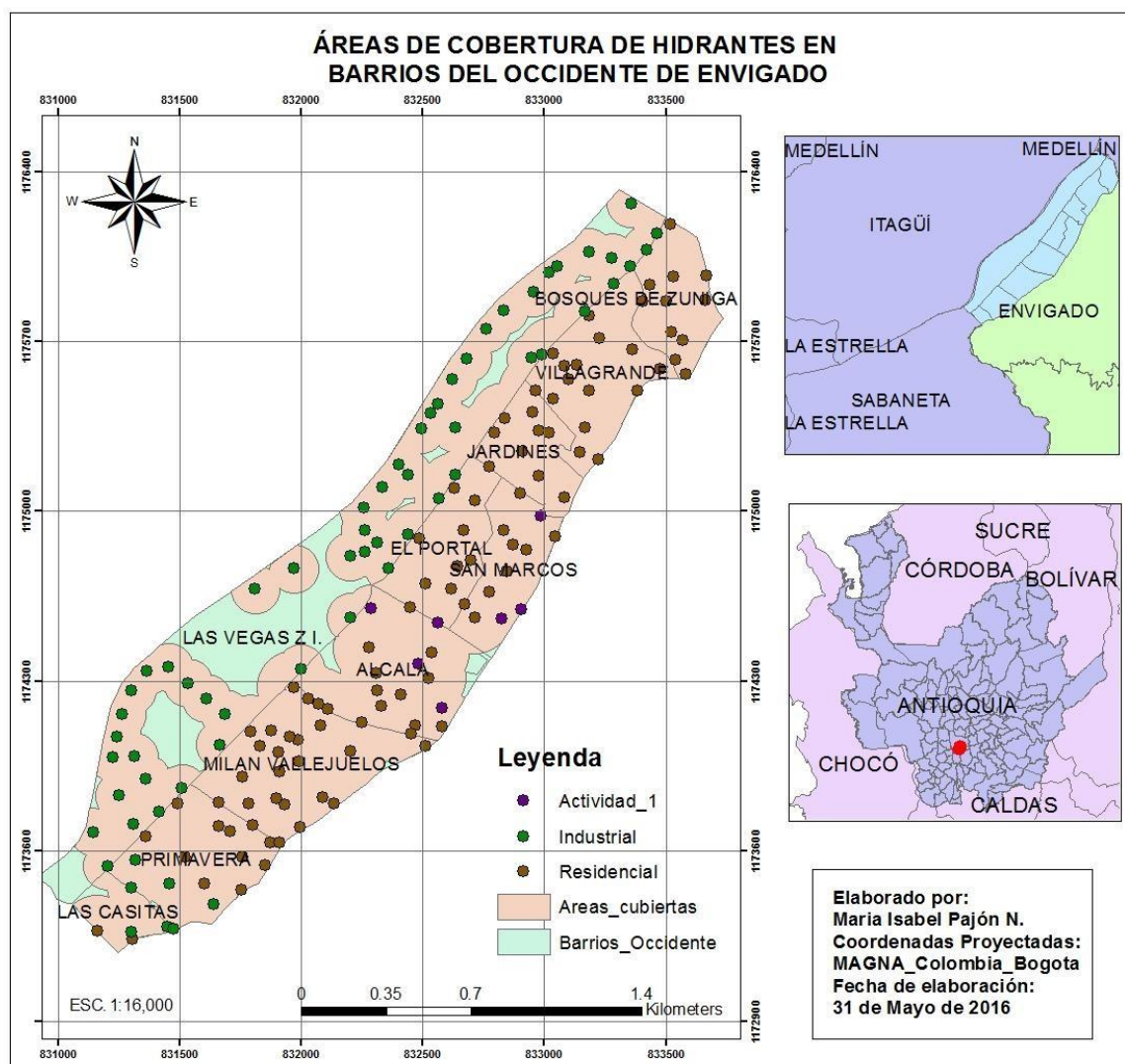
1. Se realizó Intersect entre los usos del suelo y los barrios estudiados.
2. Haciendo uso de la herramienta Intersect nuevamente, entre la capa resultante del paso 1 y los hidrantes de la zona de estudio, se obtuvo una tercera capa.
3. Con las herramientas Select By Attributes y Export Data se extrajeron capas con los hidrantes para cada uso del suelo.
4. Se realizó Buffer para cada capa con los hidrantes según uso del suelo, teniendo en cuenta que las distancias para zonas industriales y actividad múltiple 1 es 100 metros, y para áreas residenciales es 150 metros.
5. Con la herramienta Unión, se enlazaron las tres capas según el uso del suelo en una sola y se le realizó Dissolve para conformar un solo polígono.
6. A esta capa resultante del paso 5) se le realizó Intersect con la capa que contiene los barrios estudiados para conocer qué área se encuentra cubierta por los hidrantes en cada barrio.
7. Se calculó nuevamente el área de cobertura de los hidrantes en cada barrio, creando una columna nueva en la tabla de atributos y usando Calculate Geometry.
8. Estas áreas de cobertura por barrio fueron llevadas a Excel junto con el área de cada barrio extraída de la capa de los barrios en MAGNA\_Colombia\_Bogota.
9. Se halló el porcentaje de cobertura de los hidrantes de cada barrio, dividiendo el área de cobertura sobre el área total del barrio. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de dicho procedimiento.



**Tabla 19. Porcentaje de cobertura de los hidrantes en cada barrio. Fuente: Propia.**

<b>Barrio</b>	<b>Área de cobertura (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área barrio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje cobertura (%)</b>
Las casitas	66071.05	69155.38	95.54
Jardines	135109.28	135109.28	100.00
Bosques de Zúñiga	150212.08	150212.08	100.00
San Marcos	160162.60	161143.36	99.39
El Portal	175598.00	175598.00	100.00
Primavera	233668.50	234078.66	99.82
Villagrande	236790.50	236797.89	100.00
Alcalá	276875.90	292147.66	94.77
Milán Vallejuelos	310489.80	311123.56	99.80
Las vegas	906004.00	1215528.63	74.54

Según el análisis realizado los dos barrios con menor área de cobertura son Alcalá con 94.77% y Las Vegas con 74.54%. En el siguiente mapa, se presenta un resumen del procedimiento mencionado anteriormente.



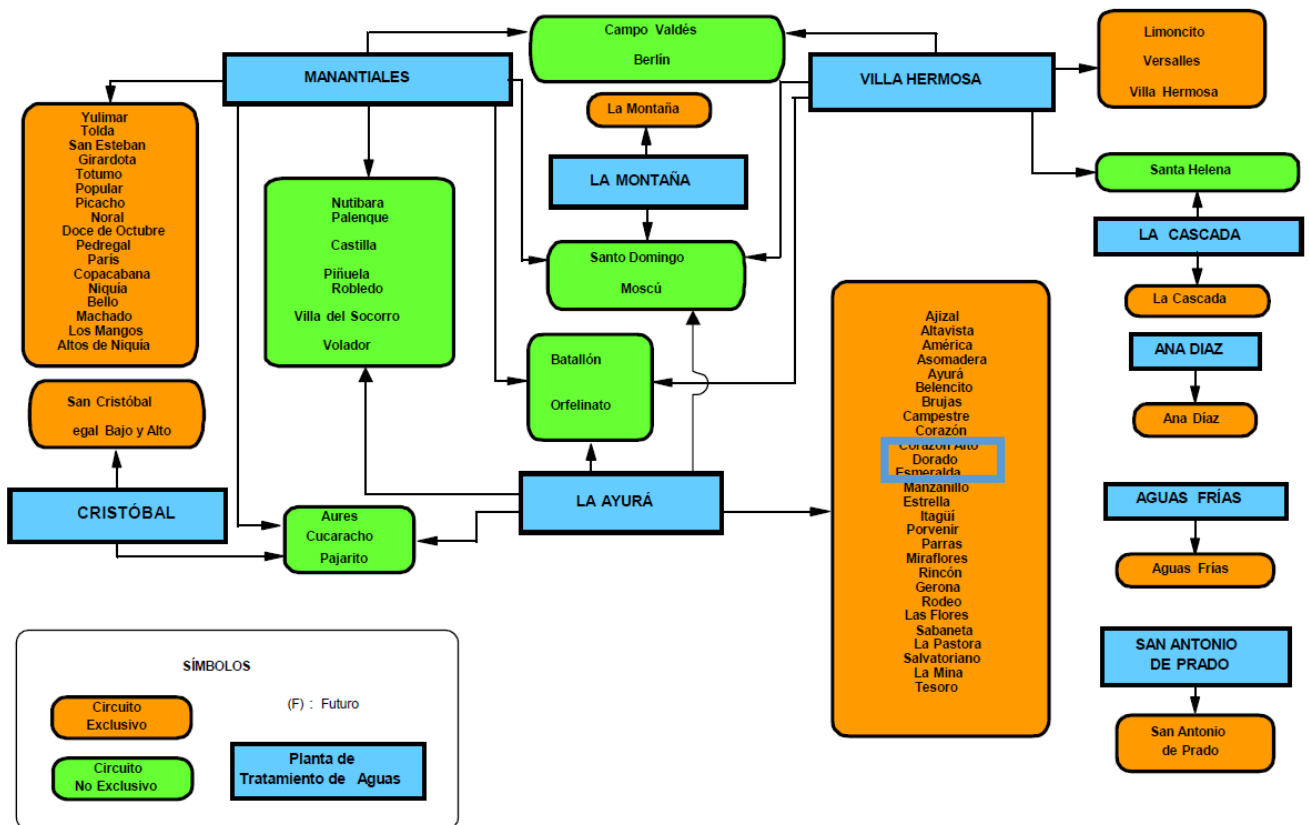
**Ilustración 4. Áreas cubiertas por los hidrantes en los barrios estudiados.**

Al unir los dos criterios trabajados resultan tres barrios que no se encuentran protegidos totalmente a la hora de un evento de fuego no controlado, estos son, Primavera, Alcalá y Las Vegas. Para este estudio se trabajará los barrios Las Vegas, debido a que en ambos criterios fue crítico, y Alcalá, ya que comparado con Primavera tiene una mayor cantidad de habitantes, por tanto es más delicado tener zonas sin cobertura ante incendios (Alcaldía de Envigado, 2011).

## **4. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO**

Un circuito es una zona de distribución a los usuarios, que consta de uno o varios tanques de almacenamiento, de una red de distribución y de un grupo de usuarios, los cuales se encuentran sectorizados por el tipo de consumidor que puede ser residencial, comercial, industrial u oficial (Empresas Públicas de Medellín, s.f.). Los circuitos que abastecen los barrios estudiados (Alcalá y Las Vegas) son El Dorado, El campestre y Ayurá. Para este estudio se realizará la evaluación de los hidrantes pertenecientes al circuito El Dorado, ya que comprenden un número significativo y para los demás circuitos se realizaría el mismo procedimiento.

En la Ilustración 5 se presenta el esquema de los circuitos exclusivos y compartidos de cada una de las plantas de potabilización, bajo situación normal de operación. Esta agrupación puede variar con el tiempo, dependiendo de trabajos de infraestructura para aumentar confiabilidad, o por causa de situaciones de mantenimientos preventivos y correctivos y de contingencias operativas (Empresas Públicas de Medellín, s.f.).



**Ilustración 5. Sistema interconectado de acueducto Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Fuente: Empresas Públicas de Medellín, s.f.**

Como se puede observar en la Ilustración 5 el circuito el Dorado tiene como planta de potabilización La Ayurá, la cual tiene una capacidad de 9,20 m<sup>3</sup>/s. Adicionalmente, el circuito tiene un tanque de almacenamiento con capacidad de 10.000 m<sup>3</sup> (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013).

Para el diagnóstico del sistema contra incendio se recolectó la información del circuito El Dorado en Epanet calibrado con ayuda de Empresas Públicas de Medellín y se procedió a añadir los hidrantes con sus respectivas coordenadas, caudales y alturas. Cabe resaltar que se tuvo que transformar las coordenadas de los hidrantes que se tenían en MAGNA\_Colombia\_Bogota, ya que la red de distribución se encontraba en coordenadas planas Bogotá 1975/ Colombia Bogotá Zone.

Los datos de caudal, cota, diámetro, color, presión residual y estática del hidrante fueron obtenidos de la capa de hidrantes brindada por Empresas Públicas de Medellín. Se

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

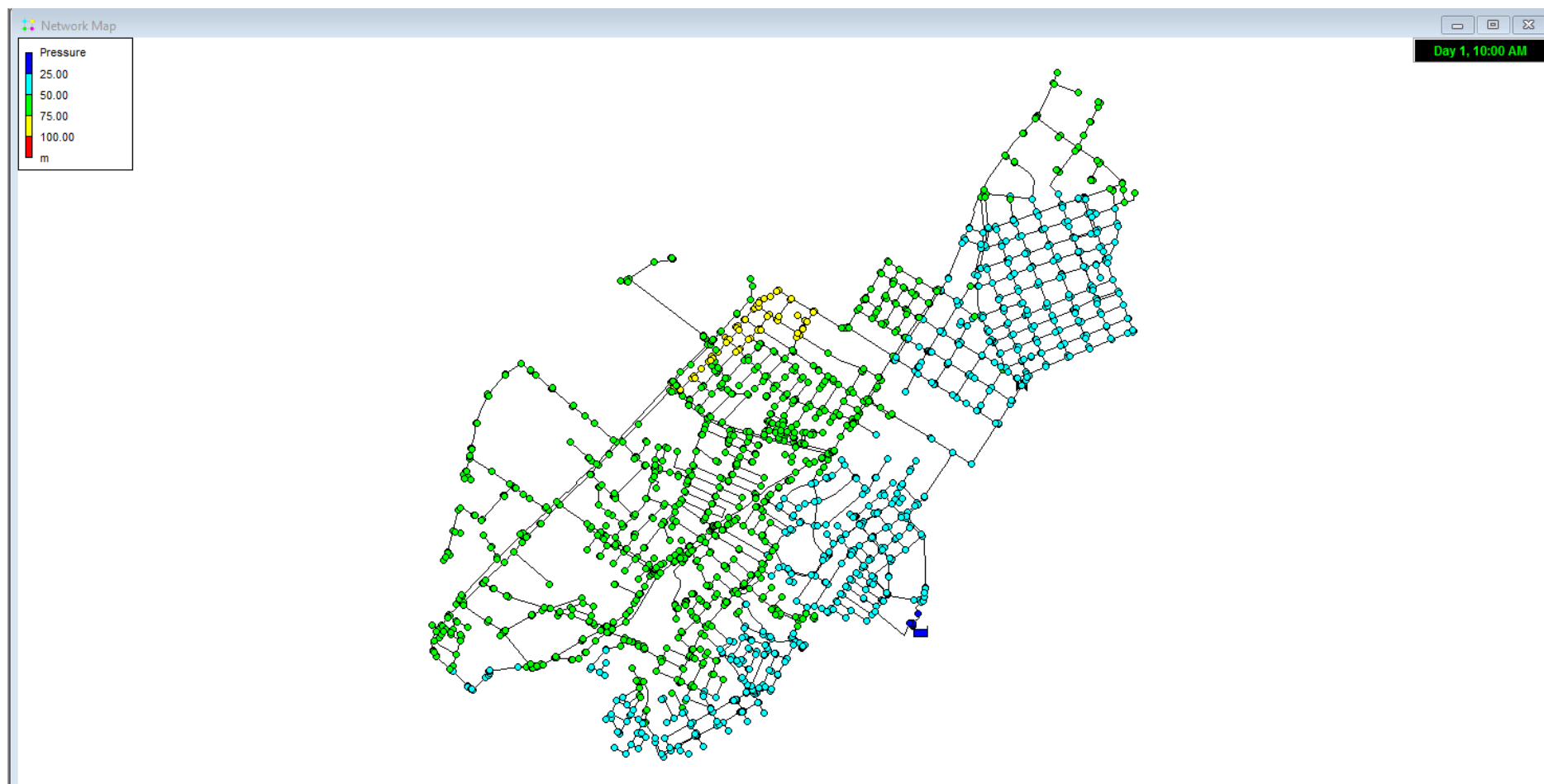
identificaron inconsistencias en los atributos de los hidrantes, como caudales de 0 L/s y presiones residuales y estáticas de cero m.c.a. Por lo tanto, estos datos no se consideraron en el diagnóstico de la red contra incendios.

El número de hidrantes pertenecientes al circuito El Dorado y a los dos barrios estudiados son 38. Estos fueron llevados al modelo de Epanet con las coordenadas transformadas y se identificó que los hidrantes ya estaban dibujados, pero no tenían una demanda base, lo que no asegura si el hidrante y por supuesto el circuito, tengan la capacidad de atender un incendio. En la Ilustración 6 se presenta el modelo de Epanet con la red de distribución del circuito El Dorado.

Para identificar los hidrantes en Epanet correspondientes a este estudio, se añadieron nodos en el modelo con las coordenadas encontradas en la proyección de MAGNA\_Colombia\_Bogota a Bogotá 1975. Conociendo su ubicación en el circuito, se procedía a buscar el hidrante en la capa de ArcGIS creada por el SIGMA para encontrar el nodo relacionado con Epanet. Finalmente, para asegurarse de que el nodo fuera correcto se comparaban las coordenadas del modelo con las de la capa del SIGMA y los atributos de la capa con la tabla de Excel donde se tenían los datos de color, caudal, presión, diámetro y cota extraídos de las capas de ArcGIS enviadas por Empresas Públicas de Medellín.

Cabe mencionar que se encontró que las coordenadas de la capa de ArcGIS y el modelo de Epanet eran iguales, por lo que se comprobó que el sistema de coordenadas era Azimuthal\_Equidistant GCS\_Bogota\_1975.

A continuación se presenta una tabla con los hidrantes estudiados y su respectivo nodo en Epanet. Adicionalmente, se muestran los datos extraídos de la tabla de atributos de la capa enviada por Empresas Públicas de Medellín.



**Ilustración 6. Presiones modelo en Epanet del circuito El Dorado. Fuente: Empresas Públicas de Medellín, 2016**

**Tabla 20. Hidrantes zona de estudio. Fuente: Empresas Públicas de Medellín, 2016.**

<b>ID_capa</b>	<b>Nodo Epanet</b>	<b>Cota</b>	<b>Caudal</b>	<b>Color</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Presión estática</b>	<b>Presión residual</b>	<b>Estado</b>
141	1	1546	32	Amarillo	150	66	8	Abierto
142	2	1554	0	Rojo	150	69	8	Cerrado
144	3	1546	39,6	Amarillo	150	66	10	Cerrado
145	4	1550,5	0	Amarillo	150	66	10	Abierto
146	5	1548	0	Verde	150	64	38	Abierto
195	6	1550,6	15,1	Rojo	150	60	8	Abierto
196	7	1547,1	0	Amarillo	100	76	14	Cerrado
205	8	1536	42,2	Amarillo	150	66	10	Abierto
207	9	1536	0	Rojo	100	74	6	Cerrado
223	10	1543,5	69,9	Amarillo	150	66	10	Abierto
224	11	1545,2	0	Rojo	75	59	6	Abierto
225	12	1555,9	0	Amarillo	150	66	10	Abierto
226	13	1550,5	81,9	Verde	150	64	38	Abierto
227	14	1562	69,9	Amarillo	150	66	10	Abierto
228	15	1544,3	30,2	Rojo	150	68	6	Abierto
229	16	1540	47,2	Rojo	75	59	6	Abierto
247	17	1545,2	75,9	Verde	150	64	38	Abierto
248	18	1542	47,2	Amarillo	75	52	10	Abierto
249	19	1540,2	74,3	Verde	150	64	38	Abierto
250	20	1538,6	0	Rojo	150	68	6	Abierto
266	21	1543	0	Verde	150	64	38	Cerrado
267	22	1536	0	Rojo	150	68	6	Cerrado
268	23	1534	0	Rojo	150	68	6	Cerrado
444	24	1546	0	Amarillo	75	72	8	Cerrado
458	25	1559,45	0	Amarillo	100	76	14	Cerrado
486	26	1541,88	32	Amarillo	100	64	38	Abierto
487	27	1540,25	32	Verde	100	64	38	Cerrado
488	28	1541,62	32	Verde	100	64	38	Cerrado
489	29	1541,75	32	Verde	100	64	38	Cerrado
490	30	1545,13	64	Amarillo	100	76	14	Abierto
500	31	1545,63	32	Amarillo	100	76	14	Cerrado
501	32	1543,83	32	Amarillo	100	76	14	Cerrado
502	34	1546	64	Amarillo	100	76	14	Cerrado
528	35	1543,83	32	Rojo	75	0	0	Abierto
538	36	1546,29	0	Rojo	150	0	0	Abierto
544	37	1548,52	63	Amarillo	150	0	0	Abierto
583	38	1555,26	0	Rojo	150	0	0	Abierto
626	39	1554,5	0	Amarillo	150	0	0	Abierto

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

Las cotas de los hidrantes fueron corregidas con el modelo de Epanet y como se mencionó anteriormente el caudal y la presión fueron verificados con modelación, puesto que se encontraron inconsistencias en los atributos de la capa enviada por Empresas Públicas de Medellín. Es importante mencionar que el caudal mínimo requerido para los hidrantes de la zona de estudio según lo estipula la normatividad RAS es 32 L/s. Lo anterior resulta de que la densidad habitacional del barrio Alcalá es 312.52 habitantes por hectárea y Las Vegas es un sector netamente industrial (Alcaldía de Envigado, 2011).

“Para los niveles de complejidad del sistema alto, en áreas comerciales, industriales o residenciales con una densidad superior a 200 habitantes por hectárea, los hidrantes deben tener una capacidad mínima de 32 L/s” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

#### **4.1 COLOR DE LOS HIDRANTES**

En cuanto al color de los hidrantes, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, las normas de diseño de EPM y la NSR -10 especifican que la parte superior del hidrante debe pintarse de acuerdo con su caudal y siguiendo normas internacionales, tal como se establece a continuación:

- Rojo: Caudales hasta 32 L/s.
- Amarillo: Caudales entre 32 y 63 L/s.
- Verde: Caudales superiores a 63 L/s.

Este requerimiento fue revisado en Epanet para cada uno de los hidrantes estudiados y se encontró que 18 hidrantes de 38 estudiados no cumplen dicho criterio. Estos son presentados en la siguiente tabla.



**Tabla 21. Hidrantes que no cumplen criterio: Relación color-caudal.**

<b>Nodo Epanet</b>	<b>Color</b>	<b>Caudal QMH (L/S)</b>	<b>Criterio Color</b>
1	Amarillo	44,87	Cumple
2	Rojo	37,65	No cumple
3	Amarillo	50,96	Cumple
4	Amarillo	71,81	No cumple
5	Verde	79,13	Cumple
6	Rojo	59,91	No cumple
7	Amarillo	49,64	Cumple
8	Amarillo	87,01	No cumple
9	Rojo	16,39	Cumple
10	Amarillo	89,12	No cumple
11	Rojo	43,67	No cumple
12	Amarillo	82,19	No cumple
13	Verde	92,66	Cumple
14	Amarillo	83,26	No cumple
15	Rojo	77,92	No cumple
16	Rojo	80,06	No cumple
17	Verde	93,87	Cumple
18	Amarillo	67,6	No cumple
19	Verde	94,92	Cumple
20	Rojo	28,86	Cumple
21	Verde	70,17	Cumple
22	Rojo	10,57	Cumple
23	Rojo	10,56	Cumple
24	Amarillo	66,66	No cumple
25	Amarillo	69,2	No cumple
26	Amarillo	78,02	No cumple
27	Verde	72,74	Cumple
28	Verde	67,09	Cumple
29	Verde	63,18	Cumple
30	Amarillo	57,58	Cumple
31	Amarillo	50,69	Cumple
32	Amarillo	53,57	Cumple
34	Amarillo	54,43	Cumple
35	Rojo	67,28	No cumple
36	Rojo	50,56	No cumple
37	Amarillo	45,34	Cumple
38	Rojo	92,05	No cumple
39	Amarillo	69,12	No cumple

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

## 4.2 DIAMETRO DE LOS HIDRANTES

Según el RAS el diámetro mínimo para un nivel de complejidad del sistema alto y zonas industriales y residenciales con densidades mayores a 200 Hab/ha es de 100 mm. Mientras que para EPM estos se deben restringir según las tuberías usadas en la red de distribución. Así, para tuberías de hasta 150 mm, los hidrantes deben ser de 75 mm y 100 mm. Y para hidrantes de 150 mm de diámetro se deben instalar en tuberías de 150 mm de diámetro y mayores. (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013)

Para verificar el diámetro de la tubería de la red de distribución a la que se conecta cada hidrante fue necesario emplear el modelo del circuito en Epanet. En la siguiente tabla se presenta el resumen de lo encontrado según las dos normas.

**Tabla 22. Resultado de la revisión de los diámetros mínimos en el RAS y la norma de EPM.**

Nodo Epanet	RAS		EPM	
	Diámetro (mm)	Evaluación criterio	Diámetro tubería red de distribución (mm)	Evaluación criterio
1	150	Cumple	150	Cumple
2	150	Cumple	150	Cumple
3	150	Cumple	150	Cumple
4	150	Cumple	150	Cumple
5	150	Cumple	200	Cumple
6	150	Cumple	100	No cumple
7	100	Cumple	100	Cumple
8	150	Cumple	150	Cumple
9	100	Cumple	150	Cumple
10	150	Cumple	150	Cumple
11	75	No cumple	75	Cumple
12	150	Cumple	150	Cumple
13	150	Cumple	200	Cumple
14	150	Cumple	150	Cumple
15	150	Cumple	100	No cumple
16	75	No cumple	100	Cumple
17	150	Cumple	200	Cumple
18	75	No cumple	75	Cumple
19	150	Cumple	200	Cumple
20	150	Cumple	100	No cumple
21	150	Cumple	100	No cumple

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

Nodo Epanet	RAS		EPM	
	Diámetro (mm)	Evaluación criterio	Diámetro tubería red de distribución (mm)	Evaluación criterio
22	150	Cumple	100	No cumple
23	150	Cumple	150	Cumple
24	75	No cumple	75	Cumple
25	100	Cumple	100	Cumple
26	100	Cumple	150	Cumple
27	100	Cumple	150	Cumple
28	100	Cumple	150	Cumple
29	100	Cumple	150	Cumple
30	100	Cumple	150	Cumple
31	100	Cumple	150	Cumple
32	100	Cumple	150	Cumple
34	100	Cumple	150	Cumple
35	75	No cumple	100	Cumple
36	150	Cumple	150	Cumple
37	150	Cumple	150	Cumple
38	150	Cumple	150	Cumple
39	150	Cumple	150	Cumple

Como se puede observar 10 hidrantes no cumplen alguno de los criterios estipulados por el RAS y la norma de Empresas Públicas de Medellín. Este número de hidrantes representa el 26,3% del total de los hidrantes estudiados.

### 4.3 CAPACIDAD HIDRÁULICA

Para el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, “los niveles de complejidad del sistema alto, en áreas comerciales, industriales o residenciales con una densidad superior a 200 habitantes por hectárea, los hidrantes deben tener una capacidad mínima de 32 L/s”. Como ya se mencionó este criterio se debe cumplir para los barrios estudiados al igual que el requerimiento estipulado por la norma de EPM, ya que el barrio Las Vegas es un sector industrial y Alcalá tiene una densidad habitacional mayor a 200 Hab/Ha.

Como el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, la norma de EPM establece la capacidad mínima de los hidrantes es 32 L/S y adicionalmente, que para zonas residenciales densamente pobladas (150 habitantes por hectárea o

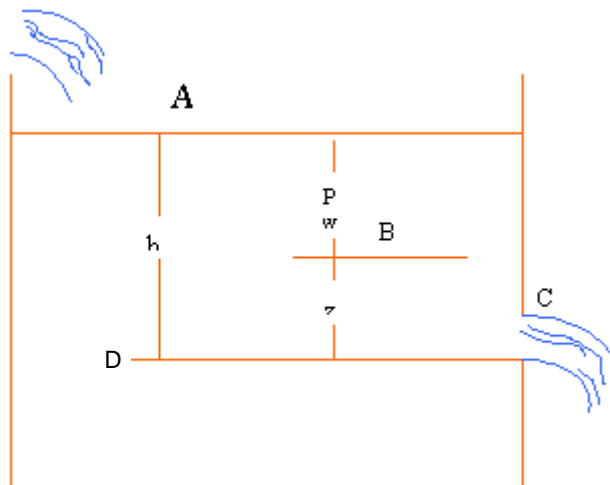
mayor) e industriales de los municipios atendidos un incendio debe ser servido por 4 hidrantes de uso simultáneo, donde la capacidad mínima de cada hidrante debe ser de 10 L/s. (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013).

Siendo estrictos en lo observado, hay hidrantes que no cumplen con la capacidad mínima estipulada por el RAS, ya que en sus atributos su caudal es cero, pero esta suposición puede no ser válida, pues puede ser que los hidrantes cumplan con el caudal establecido y la capa de ArcGIS no tenga estos datos. En este caso, sería un problema de falta de organización en la información del acueducto.

Para analizar si los hidrantes estudiados cumplen el requerimiento estipulado por la RAS se consideró el nodo representativo como un emisor en Epanet, que modela la descarga de caudal a la atmosfera a través de unos orificios. El caudal que atraviesa el emisor varía en función de la presión del nudo.

$$Q = C * p^{\gamma}$$

Donde Q= caudal, p= presión, C= coeficiente de descarga y  $\gamma$ = exponente de la presión. Para este caso  $\gamma$  es igual a 0,5, lo cual se puede demostrar haciendo uso de la teoría de chorros libres. En primer lugar cuando se emplea el teorema de Bernoulli entre el orificio A y el centro del chorro en un orificio ubicado a un lado de un gran depósito como se muestra a continuación:



**Ilustración 7. Representación de la teoría de chorros libres. Fuente: (Mejía Garcés, 2009)**

Se obtiene que:

$$\frac{v_a^2}{2g} + \frac{p_a}{\gamma} + z = \frac{v_b^2}{2g} + \frac{p_b}{\gamma}$$

$$0 + 0 + h = \frac{v^2}{2g} + 0$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Adicionalmente se conoce que la presión que ejerce una columna de agua está relacionada con su peso específico a través de la siguiente formula:

$$p = \gamma * h$$

$$h(m) = \frac{p}{\gamma} = \frac{1}{9.8 \frac{kN}{m^3}} * p = 0.102 * p$$

Por otro lado, conociendo la ecuación básica de caudal se obtiene que:

$$Q = A * v$$

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gh}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2g * 0.102 P}$$

$$Q = 1.11 d^2 \sqrt{P}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

D: diámetro interior (m)

P: presión (kPa)

Como en el modelo de Epanet se están trabajando los caudales en litros por segundo y las presiones en metros columna de agua, la ecuación final sería:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

$$Q = 3510 d^2 \sqrt{P}$$

Donde:

Q: caudal (L/s)

D: diámetro interior (m)

P: presión (m.c.a)

Las ecuaciones anteriores suponen que: (1) el chorro es continuo y del mismo diámetro que el orificio de salida y (2) que la totalidad de la altura se convierte en presión de velocidad, uniforme en toda la sección. Pero este es un caso teórico que no se cumple. (BOTTA, 2011)

### **Coeficiente de Descarga**

La fórmula anterior es ideal pues no considera la realidad de la descarga de un fluido por un orificio. En la realidad la velocidad y el diámetro sufren variaciones que se tienen en cuenta por ciertos coeficientes que se introducen en la fórmula para corregirla (BOTTA, 2011). Estos son:

- **Coeficiente de velocidad**

En condiciones reales con orificios, la velocidad, considerada como velocidad media en toda la sección del chorro, algunas veces es inferior a la velocidad calculada a partir de la presión. Esta reducción se debe al rozamiento del agua contra el orificio y a la turbulencia generada. Se expresa mediante un coeficiente de velocidad  $C_v$ . (BOTTA, 2011)

- **Coeficiente de Contracción**

“Al salir el agua por un orificio se contrae para formar un chorro cuya sección es inferior al del orificio. Esta diferencia se contempla mediante un coeficiente de contracción  $C_c$ ” (BOTTA, 2011).

“Los coeficientes de velocidad y contracción se combinan como un solo coeficiente de descarga denominado con la siguiente ecuación” (BOTTA, 2011):

$$C_d = C_v * C_c$$

Por consiguiente, la ecuación de caudal considerando el coeficiente de descarga se puede escribir así:

$$Q = 3510 * C_d * d^2 * \sqrt{P}$$

“Para un orificio, los valores de  $C_d$  se calculan mediante procedimientos normalizados de ensayo. A continuación se presentan los coeficientes de descarga típicos para orificios” (BOTTA, 2011) .

**Tabla 23. Coeficientes de descarga típicos. Fuente: (BOTTA, 2011).**

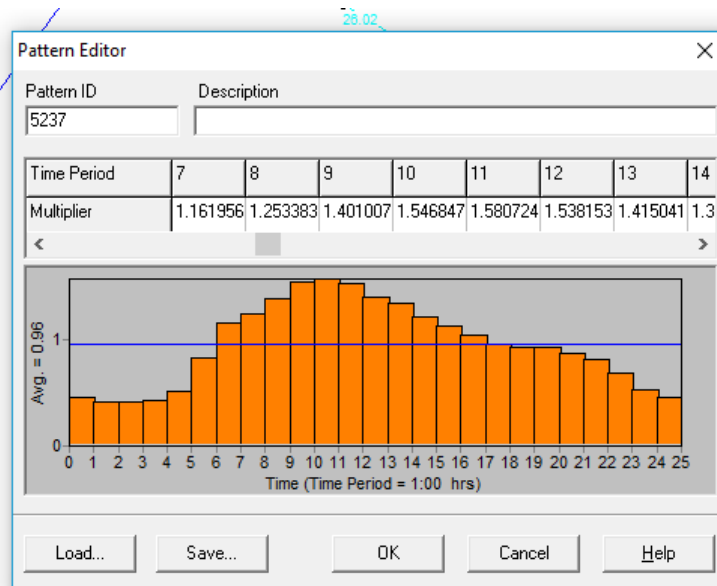
Tipo de Orificio	$C_d$
Rociador normal medio (diámetro nominal 1/2")	0,75
Rociador normal medio (diámetro nominal 17/32")	0,95
Rociador normal medio (diámetro nominal 0,64")	0,90
Orificio normalizado (aristas vivas)	0,62
Lanza de bordes lisos, en general	0,96 - 0,98
Tubos ajustables Underwriter o similares	0,97
Lanzas de diluvio o de divergencia	0,997
Tubería abierta lisa y bien redondeada	0,90
Tubería abierta, abertura con rebabas	0,80
Boca de hidrante con salida lisa y bien redondeada, a pleno caudal	0,90
Boca de hidrante con aristas vivas	0,80
Boca de hidrante con salida cuadrada que se introduce en el cuerpo del hidrante	0,70

Para este estudio se asumió un coeficiente de descarga de 0,9 relacionado con la boca de un hidrante con salida lisa y bien redondeada a pleno caudal. Por otro lado, el diámetro del orificio es 2.5 pulgadas (0.0635 m), ya que las bomberos conectan sus mangueras a estos para abastecerse y lograr atender los incendios. De esto se obtiene que el coeficiente emisor que se ingresa en Epanet para modelar el hidrante equivale a:

$$Q = 12.74 * p^{1.5}$$

Es importante mencionar que se encontró que la hora de mayor consumo es las diez de la mañana que equivale al periodo 11, debido a que en la curva de demanda es la hora con

mayor factor, lo que implica que el caudal que salga del tanque en esta hora del día es el caudal máximo horario. Esto se puede apreciar mejor en la siguiente ilustración.



**Ilustración 8. Curva de demanda circuito El Dorado.**

Por lo mencionado anteriormente la evaluación de capacidad hidráulica de los hidrantes se realizó sobre esta hora, ya que es el momento más crítico del circuito, es decir, donde se presenta el mayor consumo de los suscriptores de la red. En la siguiente tabla se presentan los resultados encontrados para el criterio establecido por el RAS y EPM acerca de la capacidad mínima de los hidrantes.

**Tabla 24. Evaluación criterio de capacidad mínima establecida por el RAS y la norma de EPM.**

Nodo Epanet	Caudal SIGMA (L/s)	Color	Caudal QMH (L/s)	Evaluación criterio Q>32 L/s
1	32	Amarillo	44,87	Cumple
2	0	Rojo	37,65	Cumple
3	39,6	Amarillo	50,96	Cumple
4	0	Amarillo	71,81	Cumple
5	0	Verde	79,13	Cumple
6	15,1	Rojo	59,91	Cumple
7	0	Amarillo	49,64	Cumple
8	42,2	Amarillo	87,01	Cumple
9	0	Rojo	16,39	No Cumple

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA



<b>Nodo Epanet</b>	<b>Caudal SIGMA (L/s)</b>	<b>Color</b>	<b>Caudal QMH (L/s)</b>	<b>Evaluación criterio Q&gt;32 L/s</b>
10	69,9	Amarillo	89,12	Cumple
11	0	Rojo	43,67	Cumple
12	0	Amarillo	82,19	Cumple
13	81,9	Verde	92,66	Cumple
14	69,9	Amarillo	83,26	Cumple
15	30,2	Rojo	77,92	Cumple
16	47,2	Rojo	80,06	Cumple
17	75,9	Verde	93,87	Cumple
18	47,2	Amarillo	67,6	Cumple
19	74,3	Verde	94,92	Cumple
20	0	Rojo	28,86	No Cumple
21	0	Verde	70,17	Cumple
22	0	Rojo	10,57	No Cumple
23	0	Rojo	10,56	No Cumple
24	0	Amarillo	66,66	Cumple
25	0	Amarillo	69,2	Cumple
26	32	Amarillo	78,02	Cumple
27	32	Verde	72,74	Cumple
28	32	Verde	67,09	Cumple
29	32	Verde	63,18	Cumple
30	64	Amarillo	57,58	Cumple
31	32	Amarillo	50,69	Cumple
32	32	Amarillo	53,57	Cumple
34	64	Amarillo	54,43	Cumple
35	32	Rojo	67,28	Cumple
36	0	Rojo	50,56	Cumple
37	63	Amarillo	45,34	Cumple
38	0	Rojo	92,05	Cumple
39	0	Amarillo	69,12	Cumple

Como se puede observar sólo 4 hidrantes no cumplen con la capacidad mínima establecida por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS y la norma de EPM.

Para este análisis es necesario revisar que las presiones en la red no lleguen al nivel mínimo admitido por la normatividad estudiada y que las velocidades no superen los límites establecidos. Para ambas normas los criterios son los siguientes:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

- Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, el área a abastecer con una presión dinámica inferior a 147.2 kPa (15 m.c.a.) puede corresponder hasta el 10% del área siempre y cuando que la presión mínima sea superior a 132.4 kPa (13.5 m.c.a.) y hasta el 5% del área de la zona de presión, siempre que la presión mínima sea superior a 117.7 kPa (12 m.c.a.) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)
- “El diseño debe limitar la velocidad mínima a 0.5 m/s, correspondiente al Caudal Máximo Horario QMH en el momento de entrada de operación de la red” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)
- La velocidad máxima depende del material de la tubería como se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 25. Velocidades máximas según material de tuberías. Fuente: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)**

Material	Velocidad (m/s)
Acero sin revestimiento	5.0
Acero con revestimiento	4.0
Hierro dúctil	4.0
CCP	3.0
PVC y PVCO	6.0
PEAD	5.0
GRP	6.0
Polipropileno	6.0

Para la presión mínima se trabajó con 15 m.c.a, ya que es el valor más conservador de los establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS.

**Tabla 26. Evaluación de la presión en los hidrantes.**

Nodo Epanet	Presión QMH (m.c.a)	Evaluación presión	Observaciones
1	12,41	No Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (14 nodos)
2	8,73	No Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (16 nodos)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

<b>Nodo Epanet</b>	<b>Presión QMH (m.c.a)</b>	<b>Evaluación presión</b>	<b>Observaciones</b>
3	16,00	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (23 nodos)
4	31,77	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema. (7 nodos)
5	38,58	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema. (7 nodos)
6	22,11	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
7	15,18	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
8	46,65	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
9	1,65	No Cumple	Presiones negativas en el sistema (14 nodos) y menores a 15 m.c.a (38 nodos)
10	48,93	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
11	11,75	No Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (10 nodos)
12	41,62	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
13	52,9	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
14	42,71	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
15	37,41	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
16	39,49	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
17	54,28	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
18	28,16	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
19	55,5	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
20	5,13	No Cumple	Presiones negativas en el sistema (28 nodos) y menores a 15 m.c.a (40 nodos)
21	30,34	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
22	0,69	No Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (21 tuberías)
23	0,69	No Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (21 nodos)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

<b>Nodo Epanet</b>	<b>Presión QMH (m.c.a)</b>	<b>Evaluación presión</b>	<b>Observaciones</b>
24	27,38	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
25	29,5	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
26	37,51	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
27	32,6	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (9 nodos)
28	27,73	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (9 nodos)
29	24,59	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (9 nodos)
30	20,43	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (9 nodos)
31	15,83	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (20 nodos)
32	17,68	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (20 nodos)
34	18,25	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (9 nodos)
35	25,46	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
36	15,75	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (26 nodos)
37	12,67	No Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (26 nodos)
38	52,2	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)
39	29,43	Cumple	Presiones menores a 15 m.c.a en el sistema (7 nodos)

En la tabla presentada anteriormente se puede observar que 8 de los 38 hidrantes estudiados no cumplen la presión dinámica de trabajo establecida para una red de distribución de agua potable.

En cuanto a la velocidad máxima establecida por la RAS, se encontraron tuberías de acero comercial, de las cuales no conocemos si tienen revestimiento o no, por tanto se asumió el valor más crítico, que corresponde a 4,00 m/s. A continuación se presenta la evaluación realizada para la velocidad mínima y máxima en la tubería que conecta al hidrante con la red de distribución de agua potable.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

**Tabla 27. Evaluación del rango de velocidades permitidas por el RAS.**

Nodo Epanet	Velocidad QMH (m/s)	Velocidad máxima RAS (m/s)	Material	Evaluación criterio
1	2,54	6,00	PVC	Cumple
2	4,79	6,00	PVC	Cumple
3	2,88	6,00	PVC	Cumple
4	4,06	6,00	PVC	Cumple
5	2,52	6,00	PVC	Cumple
6	7,63	6,00	PVC	No Cumple
7	6,32	6,00	PVC	No Cumple
8	4,92	4,00	Acero comercial	No Cumple
9	0,93	4,00	Hierro dúctil	Cumple
10	5,04	6,00	PVC	Cumple
11	9,88	6,00	PVC	No Cumple
12	4,65	6,00	PVC	Cumple
13	2,95	6,00	PVC	Cumple
14	4,71	6,00	PVC	Cumple
15	9,92	6,00	PVC	No Cumple
16	10,19	4,00	Hierro dúctil	No Cumple
17	2,99	6,00	PVC	Cumple
18	15,3	6,00	PVC	No Cumple
19	3,02	6,00	PVC	Cumple
20	3,67	4,00	Hierro dúctil	Cumple
21	8,93	6,00	PVC	No Cumple
22	1,35	4,00	Acero comercial	Cumple
23	0,6	4,00	Acero comercial	Cumple
24	15,09	6,00	PVC	No Cumple
25	8,81	4,00	Acero comercial	No Cumple
26	4,42	6,00	PVC	Cumple
27	4,12	6,00	PVC	Cumple
28	3,8	6,00	PVC	Cumple
29	3,58	6,00	PVC	Cumple
30	3,26	6,00	PVC	Cumple
31	2,87	6,00	PVC	Cumple
32	3,03	6,00	PVC	Cumple
34	3,08	6,00	PVC	Cumple
35	8,18	4,00	Hierro dúctil	No Cumple
36	2,86	6,00	PVC	Cumple
37	2,57	6,00	GRP	Cumple
38	5,21	4,00	Hierro dúctil	No Cumple

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

Nodo Epanet	Velocidad QMH (m/s)	Velocidad máxima RAS (m/s)	Material	Evaluación criterio
39	3,91	6,00	GRP	Cumple

Según los resultados obtenidos en la evaluación de la velocidad en la tubería de conexión entre el hidrante y la red de distribución de acueducto se identificaron 12 hidrantes que no cumplen la velocidad máxima establecida por el RAS. Por otro lado se encontró que todas las tuberías cumplen la velocidad mínima en la hora de mayor consumo.

El criterio establecido por la norma de EPM acerca de que 4 hidrantes deben servir simultáneamente un incendio se evaluó en 15 combinaciones, buscando que todos los hidrantes estuvieran involucrados en un análisis de este tipo. Esta evaluación se realizó para la condición de caudal máximo horario, que sería la hora más crítica de la red de distribución.

Como se evaluó la capacidad mínima en los hidrantes estipulada por el RAS se diagnosticó el comportamiento hidráulico de la red cuando 4 hidrantes se encontraban en funcionamiento, haciendo uso del coeficiente de emisión igual a 12,74 en Epanet. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 28. Evaluación de 4 hidrantes funcionando simultáneamente.**

Ensayo	Hidrantes	Caudal (L/s)	Presión (m.c.a)	Observaciones
1	37	29,48	5,35	Presiones negativas en 6 nodos
	2	2,46	-0,04	
	4	49,35	15	
	39	43,34	11,57	
2	36	22,93	3,24	Presiones negativas en 13 nodos
	1	9,03	0,5	
	3	24,03	3,56	
	37	10,27	0,65	
3	31	9,08	0,51	Presiones negativas en 7 nodos
	32	19,93	2,45	
	34	17,12	1,81	
	30	31,04	5,94	
4	29	17,8	1,95	Presiones negativas en 33 nodos
	28	22,29	3,06	
	27	35,07	7,58	

Ensayo	Hidrantes	Caudal (L/s)	Presión (m.c.a)	Observaciones
	26	49,16	14,89	
5	30	29,4	5,33	Presiones negativas en 17 nodos
	31	9,3	0,53	
	24	46,11	13,1	
	21	55,25	18,81	
6	26	61,68	23,44	Presiones negativas 10 nodos
	20	30,03	5,56	
	22	4,74	-0,14	
	29	42,86	11,32	
7	22	-7,81	-0,38	Al hidrante 22 no llega agua y se presentan presiones negativas en 8 nodos
	23	6,72	0,28	
	9	17,73	1,94	
8	14	66,42	27,18	Barrio Alcalá. No se producen presiones negativas
	38	76,98	36,51	
	6	46,99	13,6	
	13	76,28	35,85	
9	10	62,32	23,93	Barrio Alcalá. No se producen presiones negativas
	12	46,93	13,57	
	15	51,2	16,15	
	25	32,59	6,54	
10	10	67,71	28,25	Barrio Alcalá. No se producen presiones negativas
	11	28,13	4,87	
	12	55,2	18,77	
	7	43,77	11,81	
11	7	38,57	9,17	Barrio Alcalá. No se producen presiones negativas
	11	36,94	8,41	
	17	77,69	37,19	
	18	54,81	18,51	
12	10	64,07	25,29	Barrio Alcalá. Presiones negativas en 31 nodos.
	16	57,77	20,56	
	19	81,49	40,91	
	20	17,15	1,81	
13	15	59,74	21,99	Barrio Alcalá. No se producen presiones negativas
	25	43,58	11,7	
	35	55	18,64	
14	8	71,22	31,25	Barrio Alcalá. Presiones negativas en 23 nodos.
	9	10,08	0,63	
	16	63,34	24,72	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

Ensayo	Hidrantes	Caudal (L/s)	Presión (m.c.a)	Observaciones
15	4	45,92	12,99	Presiones negativas en 12 nodos.
	5	54,9	18,57	
	37	9,11	0,51	
	36	22,16	3,03	

Se puede observar que 8 hidrantes no cumplen la capacidad de 10 L/s establecida por la norma de EPM. Los hidrantes ubicados en el barrio Alcalá tienen capacidad hidráulica para atender un incendio con 4 hidrantes funcionando simultáneamente. Mientras que en Las Vegas se producen presiones negativas en la red de distribución y la presión en la mayoría de los hidrantes es menor a 20 m.c.a.

#### 4.4 PRESIÓN EN LOS HIDRANTES

Según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS la presión mínima para zonas industriales y residenciales con edificios multifamiliares es de 20 m.c.a. Y para la norma de Empresas Públicas de Medellín, “El diseño de la red de distribución debe garantizar, que para las condiciones del Caudal Máximo Horario QMH, proyectado al período de diseño de la red de distribución, la presión mínima en los hidrantes debe ser 20 m.c.a. (196 kPa)” (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013)

Para ambas normas la presión mínima es de 20 m.c.a, teniendo en cuenta que para la norma de EPM este criterio se debe cumplir para las condiciones del caudal máximo horario QMH.

En primer lugar se debe conocer el caudal máximo horario del circuito estudiado para poder evaluar las presiones en esta hora del día. Como ya se mencionó anteriormente, se tiene el modelo del circuito estudiado y la curva con los factores de demanda  $K_1 \cdot K_2$  para las diferentes horas del día, y por tanto no se requiere de ningún calculo. Simplemente se encontró cual hora del día tenía el mayor factor de demanda y se evaluó el comportamiento del sistema para dicha hora. Esto es posible, ya que el modelo fue brindado por EPM, quienes construyen la curva de demanda con registros históricos del consumo de los suscriptores de este circuito. En la siguiente tabla se presenta la evaluación de este criterio en los hidrantes estudiados.



**Tabla 29. Evaluación presión mínima en los hidrantes en condiciones de caudal máximo horario, QMH.**

<b>Nodo Epanet</b>	<b>Color</b>	<b>Presión QMH (m.c.a)</b>	<b>Evaluación criterio 20 m.c.a</b>
1	Amarillo	12,41	No Cumple
2	Rojo	8,73	No Cumple
3	Amarillo	16,00	No Cumple
4	Amarillo	31,77	Cumple
5	Verde	38,58	Cumple
6	Rojo	22,11	Cumple
7	Amarillo	15,18	No Cumple
8	Amarillo	46,65	Cumple
9	Rojo	1,65	No Cumple
10	Amarillo	48,93	Cumple
11	Rojo	11,75	No Cumple
12	Amarillo	41,62	Cumple
13	Verde	52,9	Cumple
14	Amarillo	42,71	Cumple
15	Rojo	37,41	Cumple
16	Rojo	39,49	Cumple
17	Verde	54,28	Cumple
18	Amarillo	28,16	Cumple
19	Verde	55,5	Cumple
20	Rojo	5,13	No Cumple
21	Verde	30,34	Cumple
22	Rojo	0,69	No Cumple
23	Rojo	0,69	No Cumple
24	Amarillo	27,38	Cumple
25	Amarillo	29,5	Cumple
26	Amarillo	37,51	Cumple
27	Verde	32,6	Cumple
28	Verde	27,73	Cumple
29	Verde	24,59	Cumple
30	Amarillo	20,43	Cumple
31	Amarillo	15,83	No Cumple
32	Amarillo	17,68	No Cumple
34	Amarillo	18,25	No Cumple
35	Rojo	25,46	Cumple
36	Rojo	15,75	No Cumple
37	Amarillo	12,67	No Cumple
38	Rojo	52,2	Cumple

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

Nodo Epanet	Color	Presión QMH (m.c.a)	Evaluación criterio 20 m.c.a
39	Amarillo	29,43	Cumple

Según lo observado en el análisis de presiones mínima en los hidrantes estudiados, se encontró que 14 hidrantes no cumplen lo estipulado por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS y la norma de Empresas Públicas de Medellín.

#### 4.5 NORMA SISMORESISTENTE

Tabla 30. Relación entre número de hidrantes y área.

Edificación	Área / hidrante, m²	Caudal / hidrante, L/s
Edificios cuya altura de evacuación descendente sea más de 28 metros o ascendente de más de 6 metros.	500	32
Cines, teatros, auditorios y discotecas.	500	63
Recintos deportivos.	500	63
Locales comerciales.	1 000	63
Estacionamientos.	1 000	63
Hospitales	500	63
Residencias	5 000	32
Atención al público	500	63
Educación	1 000	63
Almacenamiento	500	63

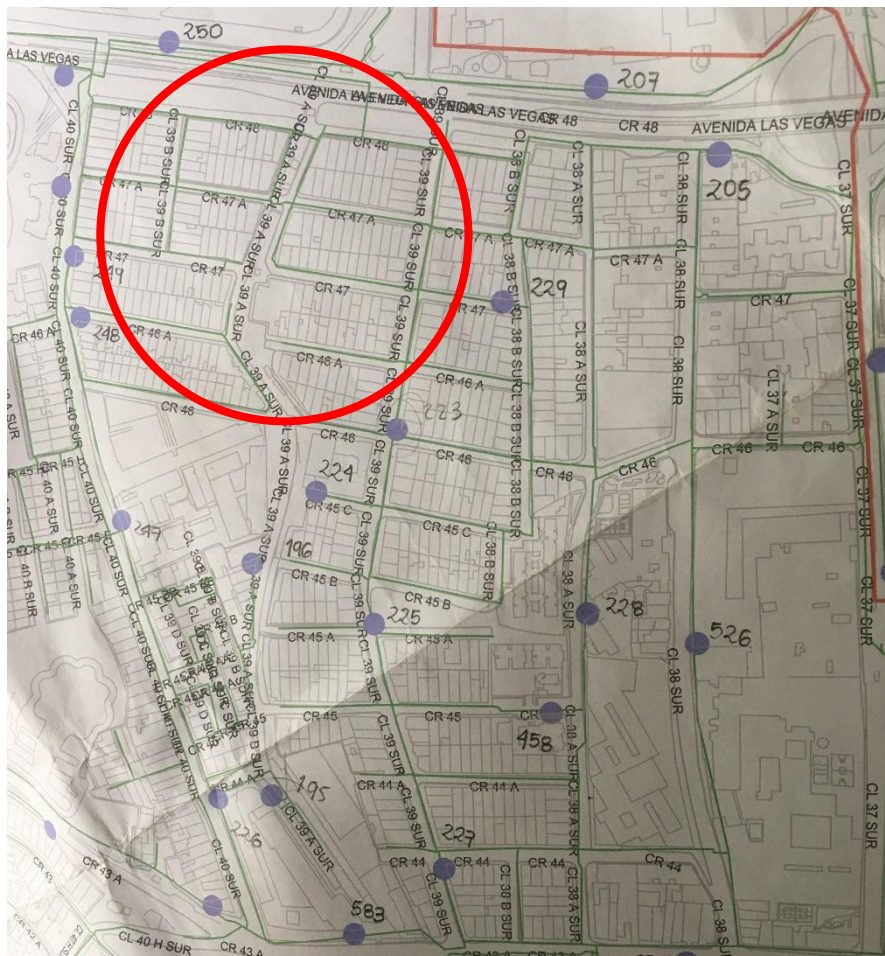
Por lo menos un hidrante debe estar situado a no más de 100 m de distancia de un acceso al edificio. Los demás deberán estar razonablemente repartidos por el perímetro de la edificación y ser accesibles para los vehículos del servicio del cuerpo de bomberos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

Alcalá es un barrio que se caracteriza por tener viviendas de uno y dos pisos, bloques multifamiliares y algunas zonas de comercio, mientras que Las vegas es un sector netamente industrial. En las visitas de campo se logró observar que las construcciones de ambos barrios son antiguas, lo que significa que fueron construidas con normas que no consideraban los hidrantes en los criterios de diseño.

Evaluando el mapa físico con el circuito El Dorado brindado por Empresas Públicas de Medellín, en el barrio Alcalá se aprecian zonas donde las edificaciones tienen un hidrante a más de 100 metros. Esto se puede apreciar por el número de cuadras que los separan

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

del hidrante, ya que en Colombia las cuadradas son de aproximadamente 100x100 metros. En la siguiente ilustración se encuentra demarcada en rojo una zona que no cumple la normatividad NSR-10.



**Ilustración 9. Zona en barrio Alcalá sin cobertura según la NSR-10.**

En las visitas de campo se identificó también que el barrio Las Vegas es un sector constituido por fábricas, bodegas de almacenamiento y oficinas. Adicionalmente, se detectaron dos bombas de gasolina, las cuales tienen un alto riesgo de incendio. Y se observó que cada edificación tiene un hidrante a menos de 100 m de su acceso, excepto Envicárnicos y Sofasa. A continuación se presenta la parte del barrio Las Vegas correspondiente al Circuito El Dorado.



**Ilustración 10. Barrio Las Vegas, circuito El Dorado.**

Por otro lado se verificó que los hidrantes cercanos a las edificaciones especiales de áreas mayores a 500 m<sup>2</sup> como centros educativos, bodegas de almacenamiento, unidades residenciales, entre otros, cumplieran con el caudal estipulado por la Norma Sismo resistente de 2010. En la siguiente tabla se presentan las edificaciones identificadas en la zona de estudio, el hidrante más cercano y su caudal.

**Tabla 31. Evaluación de edificaciones especiales según la Norma Sismo Resistente 2010.**

Edificación	Hidrante cercano	Caudal (L/s)	Color	Criterio NSR-10	Observaciones
Peldar	9	16,39	Rojo	No cumple	
Sofasa	22	10,57	Rojo	No cumple	No tiene hidrante cercano a la entrada
	26	78,02	Amarillo	Cumple	Tiene hidrantes alrededor, se coloca el de mayor caudal
Policía Nacional	26	78,02	Amarillo	Cumple	
	21	70,17	Verde	Cumple	
Centro de distribución Grupo Éxito	26	78,02	Amarillo	Cumple	Importante tener red contra incendios interior

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

Edificación	Hidrante cercano	Caudal (L/s)	Color	Criterio NSR-10	Observaciones
Univegas	2	37,65	Rojo	No cumple	
Centro múltiple las vegas	4	71,81	Amarillo	Cumple	
Institución Educativa Alejandro Vélez Barrientos	11	43,67	Rojo	No cumple	
Parque Cultural Débora Arango	35	67,28	Rojo	Cumple	
Universidad Cooperativa de Colombia	9	16,39	Rojo	No cumple	No tiene hidrante cercano a la entrada
Secretaria de Educación de Envigado	35	67,28	Rojo	Cumple	
Secretaria de Tránsito y Transporte de Envigado	39	69,12	Amarillo	Cumple	
Refugio Bernardo Uribe	7	49,64	Amarillo	No cumple	
Envicárnicos	39	69,12	Amarillo	Cumple	No tiene hidrante cercano a la entrada. El hidrante 39 se encuentra a más de 100 m de la entrada de la edificación
I.E JOMAR	35	67,28	Rojo	Cumple	
U.R Portón de Alcalá	6	59,91	Rojo	Cumple	
I.E Manuel Uribe Ángel	25	69,2	Amarillo	Cumple	No tiene hidrante cercano a la entrada. El hidrante 25 se encuentra a más de 100 m de la entrada de la edificación

Es preocupante la situación de algunas instituciones educativas, ya que son edificaciones con más de 10 años que no tienen un diseño interno contra incendios y cercano a su acceso no hay hidrantes que puedan atender una emergencia. En empresas como Sofasa y Peldar habría que entrar a evaluar cómo se encuentra en redes contra incendios internas para diagnosticar como es la cobertura ante un evento de fuego, pero ese tipo de valoración no es propia de este trabajo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA



4.6 VISITAS DE CAMPO

Se realizaron visitas de campo para revisar el estado de los hidrantes y sí en realidad se encontraban en el lugar especificado por Empresas Públicas de Medellín. En general los hidrantes están en buen estado y el lugar de ubicación referenciado por EPM es correcto, pero algunos de estos no están visibles y dada una emergencia se perderá tiempo tratando de localizar el hidrante. A continuación se presenta el registro fotográfico realizado a los hidrantes del sector estudiado.

Tabla 32. Registro fotográfico de las visitas de campo realizadas.

 <p>250</p>	 <p>267</p>	 <p>268</p>
 <p>207</p>	 <p>486</p>	 <p>487</p>





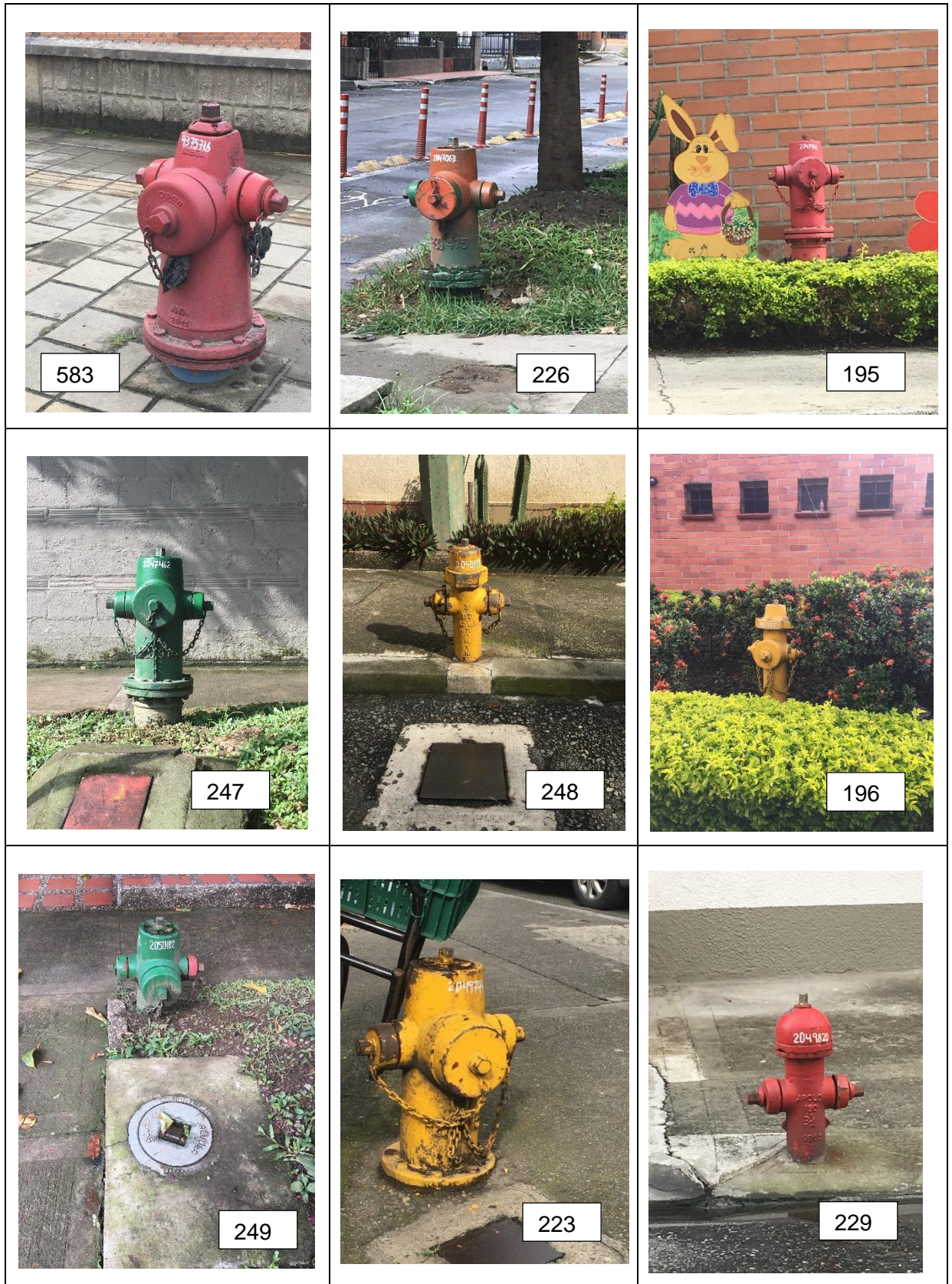
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA





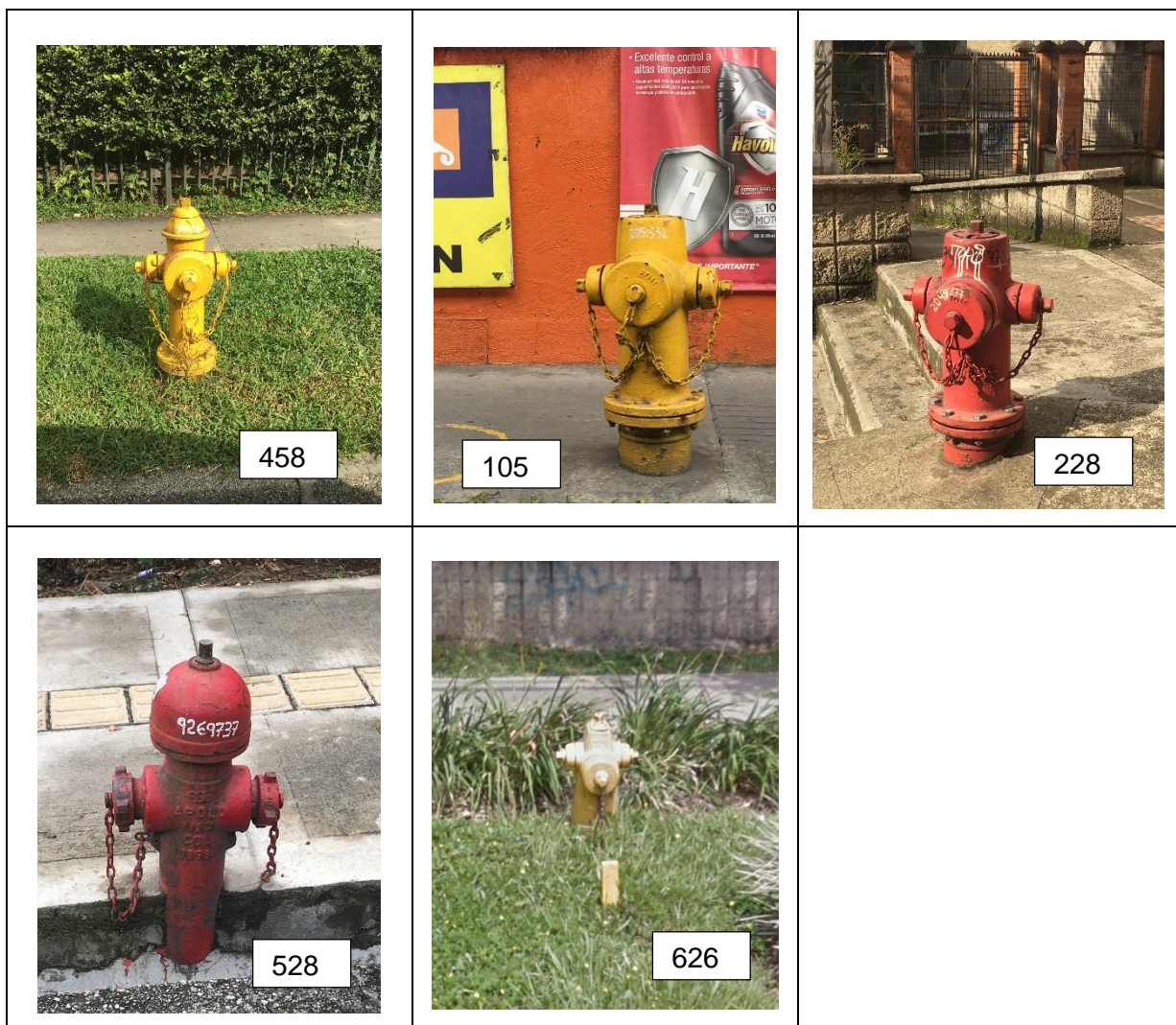
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA





La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA





El hidrante 223 se encontró deteriorado, se recomienda a la entidad prestadora del servicio de agua potable y a los bomberos de Envigado revisar este elemento, pues es posible que no se le haya realizado mantenimiento en un largo periodo de tiempo y no esté funcionando adecuadamente. Adicionalmente, el hidrante 226 tiene un color naranjado con verde, que no es propio de un elemento de este tipo, por tanto se sugiere que sea examinado y pintado del color que le corresponde.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

## **5. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO**

El mejoramiento de la red contra incendios se centró en buscar una cobertura total en los barrios estudiados, cumpliendo los criterios de diseño estipulados por la Norma Sismo Resistente Colombiana 2010 y el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS.

### **5.1 INSTALACIÓN DE HIDRANTES**

Para cumplir los criterios sobre los hidrantes estipulados en la Norma Sismo Resistente y mejorar la cobertura de los barrios estudiados se propone la instalación de nuevos hidrantes, garantizando que las edificaciones especiales detectadas, que es donde comúnmente se reúnen mayor cantidad de personas, puedan acceder fácilmente a los hidrantes en caso de emergencia.

En el barrio Las Vegas garantizar una cobertura total depende de la red contra incendios interna de las edificaciones ubicadas en el sector, debido a que las áreas que ocupan dichas construcciones son amplias y la red externa no alcanza a cubrirlas completamente. Esto sucede con industrias como Peldar, Sofasa y el centro de distribución del Éxito, las cuales son bodegas privadas de gran área, donde es fundamental tener una buena red contra incendios interna.

En primer lugar se procedió a instalar hidrantes en la red de acueducto en los lugares que no cumplían la Norma Sismo Resistente, ya que no tenían hidrantes a menos de 100 m del acceso a la edificación, como Sofasa, la Universidad Cooperativa de Colombia, Envicárnicos y la Institución Educativa Manuel Uribe Ángel. Adicionalmente, se instalaron otros dos hidrantes, uno en el barrio Alcalá y otro cerca a la entrada de Sofasa, buscando mejorar la cobertura en los barrios estudiados.

Luego de modelar los nuevos hidrantes en la red de distribución se verificó su capacidad y se aumentaron los diámetros de las tuberías de abastecimiento en los casos en los que no se cumplía el requerimiento de caudal mínimo estipulado por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. También se consideró que el diámetro mínimo para ambos barrios es de 100 mm y los diámetros estándares para hidrantes.

En la siguiente tabla se presentan las modificaciones que se realizaron sobre las tuberías de abastecimiento de los hidrantes nuevos para cumplir las condiciones estipuladas por la Norma Sismo Resistente y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

**Tabla 33. Instalación de hidrantes nuevos y mejoramiento de su capacidad.**

Hidrante	Tubería modificada	Diámetro actual (mm)	Diámetro mejorado (mm)	Longitud	Material	Observaciones
66-59 (Sofasa)	5955	100	150	23,61	PVC	
	1	-	200	100	PVC	Tubería nueva
	2	-	200	268,65	PVC	Tubería nueva
	3	-	150	100	PVC	Tubería nueva
	4	-	200	1,5	PVC	Tubería nueva
	5	-	150	1,5	PVC	Tubería nueva
67 (Universidad Cooperativa de Colombia)	6	100	100	25	Hierro dúctil	Tubería que unía nodos 1814 y 2881 fue dividida
	7	100	100	50,89	Hierro dúctil	
77 (Envicárnicos)	3252	75	200	26,27	PVC	
	563	100	200	1,17	PVC	
	445	100	200	0,96	PVC	
	568	100	200	1,19	PVC	
	2775	100	200	10,65	PVC	
	3102	100	200	18,23	PVC	
78 (I.E Manuel Uribe Ángel)	-	-	-	-	-	No requirió de cambios en las tuberías
89 (Alcalá)	2953	75	100	12,04	PVC	
	3581	75	100	43,46	PVC	

## 5.2 MEJORAS EN LA RED CONTRA INCENDIO

Para mejorar las condiciones de los hidrantes que se encontraban cerca de los accesos de las edificaciones especiales y no cumplían el caudal estipulado por la Norma Sismo Resistente, como Refugio Bernardo Uribe, la Institución Educativa Alejandro Vélez Barrientos, Univegas y Peldar, se cambiaron los diámetros de las tuberías que abastecen estos elementos y se verificaron los criterios impuestos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Esto se puede observar mejor en la siguiente tabla.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

**Tabla 34. Cambios en las tuberías de los hidrantes existentes cerca de los accesos de las edificaciones especiales.**

Hidrante	Tubería modificada	Diámetro actual (mm)	Diámetro mejorado (mm)	Longitud (m)	Material
7 (Refugio Bernardo Uribe)	5153	100	150	0,72	PVC
	411	100	200	0,88	PVC
	3729	100	200	57,74	PVC
	838	100	200	1,53	PVC
	695	100	200	1,39	PVC
	1248	100	200	2,58	PVC
	692	100	200	1,38	PVC
	2778	100	200	10,69	PVC
	2993	100	150	13,98	PVC
11 (I.E Alejandro Vélez)	674	75	150	1,35	PVC
	3413	75	100	35,00	PVC
2 (Univegas)	5170	100	150	1,25	PVC
9 (Peldar)	6016	150	200	86,38	PVC
	6004	150	200	5,31	PVC
	6012	100	200	34,14	PVC
	6003	100	200	5,17	PVC
	5998	100	200	2,4	PVC
	6000	100	200	3,03	PVC
	6007	100	200	21,53	PVC

Para el hidrante 9 ubicado cerca al acceso de Peldar se propone cambiar el material de las tuberías abastecedoras a PVC, ya que actualmente son en hierro dúctil y estos elementos son más costosos.

Finalmente se mejoraron las condiciones de la red contra incendio de los dos barrios estudiados para que cumplieran los criterios estipulados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. A manera de resumen, los hidrantes de la zona de estudio deben cumplir lo siguiente:

- El diámetro de los hidrantes no debe ser menor a 100 mm.
- La presión mínima en funcionamiento del hidrante debe ser 20 m.c.a.
- El caudal mínimo del hidrante debe ser 32 L/s.

En el diagnóstico de la red contra incendio en los dos barrios estudiados se encontró que 5 hidrantes no cumplían con el diámetro mínimo establecido por el RAS, por lo tanto se propone cambiar el diámetro de estos elementos como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 35. Cambios en el diámetro de los hidrantes que no cumplen criterio del RAS.**

Hidrante	Diámetro SIGMA (mm)	Diámetro mejorado (mm)
11	75	150
16	75	150
18	75	150
24	75	100
35	75	100

Se encontró que los hidrantes 16 y 35 no tenían un diámetro de 75 mm en Epanet como estaba especificado en el archivo del SIGMA. Los diámetros propuestos de 150 mm resultaron de realizar las mejoras en todo el sistema, las cuales serán presentadas más adelante.

Con respecto a la capacidad mínima que estipula el RAS sólo 4 hidrantes no cumplían el criterio, pero después de realizar varias modificaciones en las tuberías que abastecen los hidrantes de la zona de estudio e aumentar la cobertura del sistema contra incendio, se encontró que los hidrantes cumplían con el caudal mínimo.

**Tabla 36. Mejoras en el sistema contra incendio para cumplir el caudal mínimo estipulado por el RAS.**

Hidrante	Caudal (L/s)
9	63,11
20	63,05
22	76,81
23	70,47

Para mejorar las presiones en los hidrantes que se encontraban con problemas sólo fueron necesarios cambios en las tuberías que los conectan con la red de distribución. En la siguiente tabla se presentan los cambios realizados y la presión obtenida.

**Tabla 37. Cambios en las tuberías que abastecen los hidrantes para cumplir presión mínima del RAS:**

Hidrante	Tubería modificada	Diámetro actual (mm)	Diámetro propuesto (mm)	Presión (m.c.a)
2	3123	100	200	19,11
	4005	100	200	
11	674	100	150	28,88
22	5950	100	150	36,35

Por último, se procedió a realizar el mismo procedimiento llevado a cabo en el diagnóstico, donde a cada hidrante se le impuso un coeficiente de emisión igual a 12,74 para verificar el correcto funcionamiento del sistema contra incendio. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos después del mejoramiento del sistema.

**Tabla 38. Resultados obtenidos de las mejoras realizadas en la red contra incendio de los barrios estudiados.**

Nodo Hidrante Epanet	Caudal QMH (L/s)	Presión QMH (m.c.a)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Material	Color propuesto
1	74,57	34,26	150	4,22	PVC	Verde
2	55,69	19,11	150	3,15	PVC	Amarillo
3	75,29	34,93	150	4,26	PVC	Verde
4	80,09	39,52	150	4,53	PVC	Verde
5	88,42	48,16	200	2,81	PVC	Verde
6	61,93	23,63	100	7,89	PVC	Amarillo
7	65,91	26,77	150	3,73	PVC	Verde
8	90,93	50,94	150	5,15	Acero	Verde
9	63,11	24,54	150	3,57	PVC	Verde
10	93,57	53,94	150	5,29	PVC	Verde
11	68,46	28,88	150	3,87	PVC	Verde
12	86,05	45,62	150	4,87	PVC	Verde
13	96,33	57,18	200	3,07	PVC	Verde
14	86,32	45,9	150	4,88	PVC	Verde
15	81,21	40,64	150	4,60	PVC	Verde
16	84,71	44,21	150	4,79	Hierro dúctil	Verde
17	98,61	59,91	200	3,14	PVC	Verde
18	97,72	58,84	150	5,53	PVC	Verde
19	100,65	62,42	200	3,20	PVC	Verde
20	63,05	24,49	150	3,57	Hierro dúctil	Verde
21	75,84	35,44	100	9,66	PVC	Verde
22	76,81	36,35	150	4,35	Acero	Verde



<b>Nodo Hidrante Epanet</b>	<b>Caudal QMH (L/s)</b>	<b>Presión QMH (m.c.a)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Material</b>	<b>Color propuesto</b>
23	70,47	30,59	150	3,99	Acero	Verde
24	82,79	42,23	100	10,54	PVC	Verde
25	72,01	31,95	100	9,17	Acero	Verde
26	90,71	50,7	150	5,13	PVC	Verde
27	88,44	48,19	150	5,00	PVC	Verde
28	85,23	44,76	150	4,82	PVC	Verde
29	83,46	42,91	150	4,72	PVC	Verde
30	79,53	38,97	150	4,50	PVC	Verde
31	76,00	35,58	150	4,30	PVC	Verde
32	77,76	37,25	150	4,40	PVC	Verde
34	77,47	36,98	150	4,38	PVC	Verde
35	66,02	28,86	100	8,41	Hierro dúctil	Verde
36	72,55	32,43	150	4,11	PVC	Verde
37	64,46	25,6	150	3,65	GRP	Verde
38	94,53	55,06	150	5,35	Hierro dúctil	Verde
39	77,52	37,02	150	4,39	GRP	Verde
59	82,69	42,13	150	4,68	PVC	Verde
66	81,88	41,31	150	2,61	PVC	Verde
67	81,16	40,58	150	4,59	Hierro dúctil	Verde
77	58,96	21,41	150	3,34	PVC	Verde
78	73,98	33,72	100	9,42	Hierro dúctil	Verde
89	61,28	23,14	100	7,80	PVC	Amarillo

Después de realizar las mejoras en la red el número de nodos con presiones menores a 15 m.c.a es igual a 7, que corresponden a los nodos cercanos al tanque, los cuales ya tenían una presión de esta magnitud en el modelo de Epanet original brindado por EPM. Adicionalmente, las velocidades de la red antes de realizar los cambios en la red de distribución eran altas en algunos elementos, por tanto se supone que las tuberías tienen recubrimiento.

Como se puede observar todos los hidrantes cumplen la capacidad mínima y los diámetros estipulados por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. En cuanto a la presión mínima establecida por esta norma, solo un hidrante no alcanzó 20 m.c.a en la hora de máximo caudal, pero se encuentra cerca de este valor.



Los resultados obtenidos para las edificaciones especiales según los criterios estipulados por la Norma Sismo Resistente después de realizar las mejoras en la red contra incendio, se presentan en la siguiente tabla

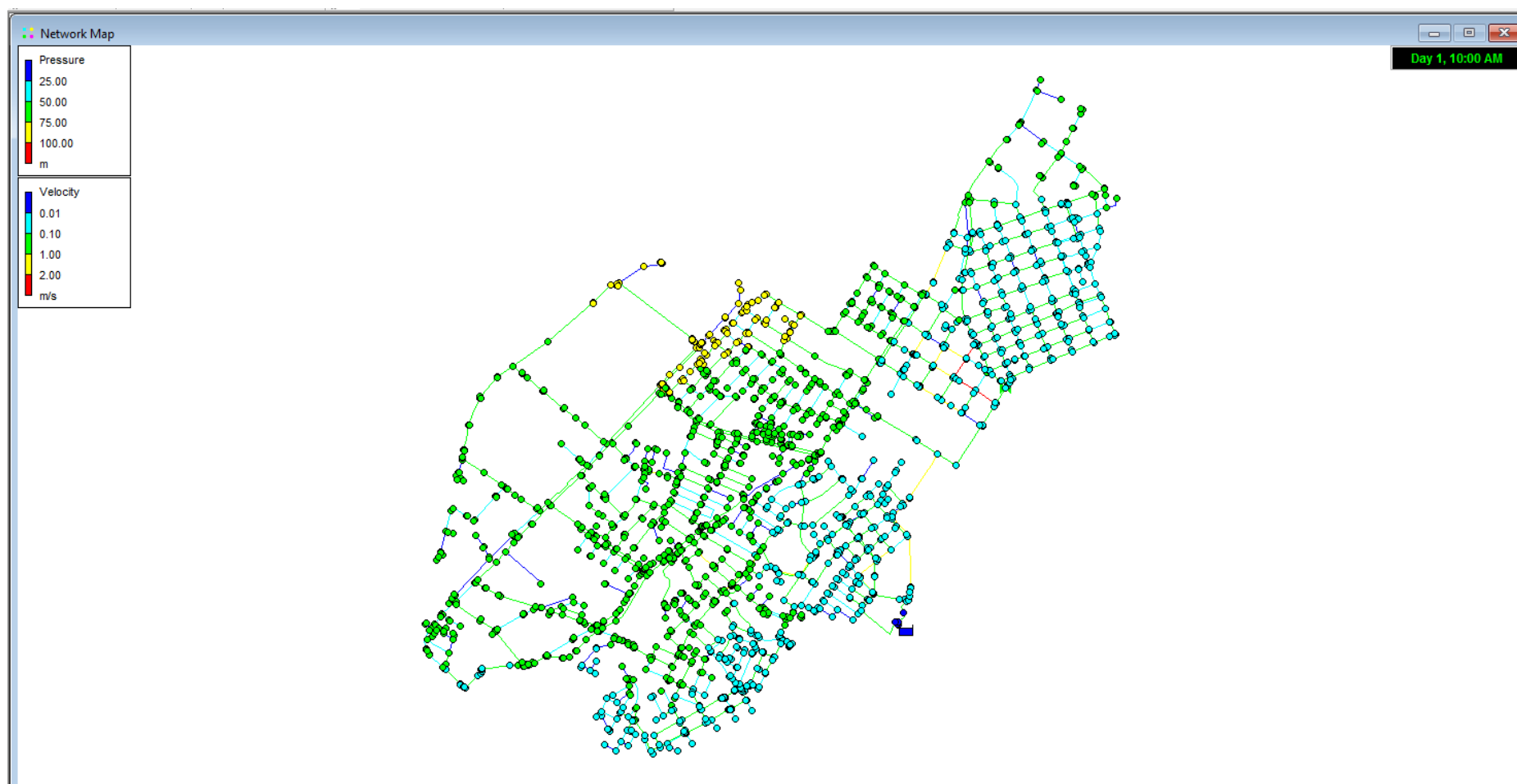
**Tabla 39. Mejoramiento de la capacidad hidráulica establecida por la Norma Sismo Resistente Colombiana.**

Edificación	Hidrante cercano	Caudal QMH (L/s)	Criterio NSR-10
Peldar	9	63,11	Cumple
Sofasa	66	81,88	Cumple
Policia Nacional	26	90,71	Cumple
Centro de distribución Grupo Éxito	26	90,71	Cumple
Univegas	2	55,69	Cumple
Centro múltiple las vegas	4	80,09	Cumple
Institución Educativa Alejandro Vélez Barrientos	11	68,46	Cumple
Parque Cultural Débora Arango	35	66,02	Cumple
Universidad Cooperativa de Colombia	67	81,16	Cumple
Secretaria de Educación de Envigado	35	66,02	Cumple
Secretaria de Tránsito y Transporte de Envigado	39	77,52	Cumple
Refugio Bernardo Uribe	7	65,91	Cumple
Envicárnicos	77	58,96	No cumple
I.E JOMAR	35	67,28	Cumple
U.R Portón de Alcalá	6	61,93	Cumple
I.E Manuel Uribe Ángel	78	73,98	Cumple

Se logró mejorar la capacidad hidráulica de los hidrantes cercanos al acceso de las edificaciones especiales identificadas en el sector, excepto en Envicárnicos, en el cual sí se aumentaba el caudal se caía la presión. Por tanto, se buscó un punto de convergencia donde el caudal estuviera cerca al estipulado por la NSR-10 y se cumpliera la presión mínima impuesta por el RAS.

En la siguiente ilustración se presenta el modelo en Epanet de la red de distribución propuesta para cumplir con los requisitos estipulados por la Norma Sismo Resistente y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA



**Ilustración 11. Modelo del circuito El Dorado con mejoras en la red contra incendios a la hora de mayor consumo.**

## **6. PLAN DE IMPLEMENTACION**

Para implementar las mejoras propuestas en la red contra incendio es necesario revisar los cambios requeridos y los costos que estos traen. En primer lugar se recomienda instalar los tramos nuevos de tubería y realizar los cambios propuestos en la red de distribución, luego sustituir aquellos hidrantes que tienen un diámetro menor a 100 mm y finalmente colocar los seis (6) hidrantes nuevos.

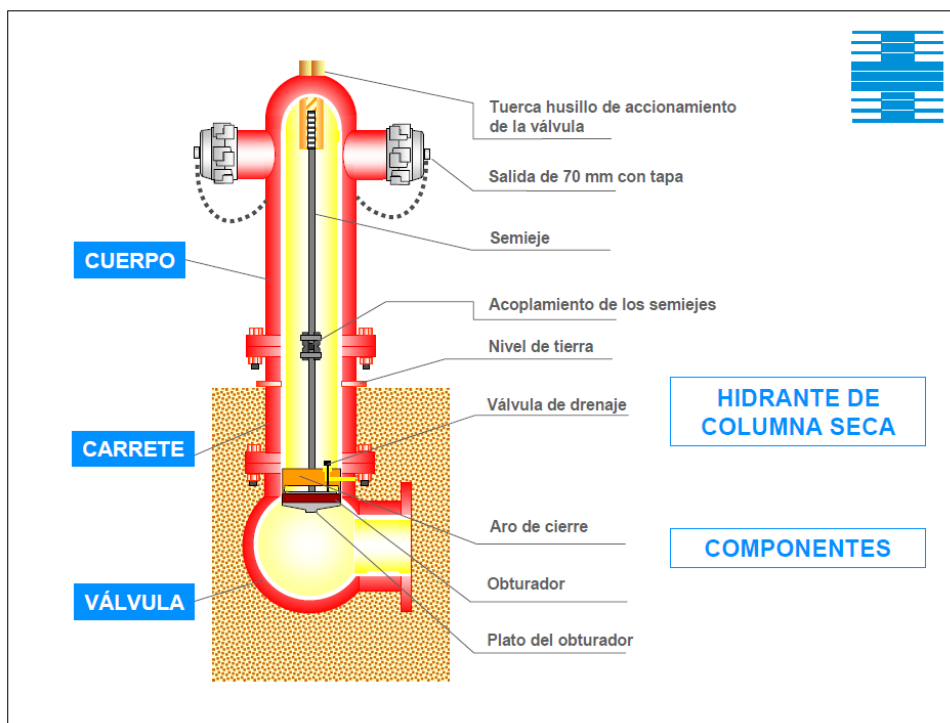
### **6.1 INSTALACIÓN Y SUSTITUCIÓN DE HIDRANTES**

En primer lugar, los hidrantes deben ser inspeccionados con el fin de detectar posibles roturas en el material y comprobar la conformidad de los elementos que lo componen. Durante esta inspección inicial se debe revisar el tamaño, forma y dirección de apertura de la tuerca de operación, la profundidad de instalación, diámetro y tipo de conexión de entrada, diámetro de las boquillas de salida del hidrante, y demás elementos que componen el hidrante. Después de instalado el hidrante en la red de distribución, éste debe ser probado con sus accesorios. Si alguno de los elementos y/o el hidrante resultan defectuosos se deben reponer (EMCALI, 2012). Adicionalmente, se debe tener en cuenta lo mencionado a continuación.

- Se deben realizar las adecuaciones necesarias para que el hidrante quede saliente de la red existente en su totalidad por encima del nivel del terreno (EMCALI, 2012). "La altura de las bocas sobre el nivel del piso debe ser 0,4 metros" (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010). Esto con el fin de asegurar la conexión de las mangueras y la operación de la llave del hidrante, pues no deben existir obstrucciones que eviten o retarden su accionar. (EMCALI, 2012)
- El hidrante se debe instalar en posición vertical nivelada y con la boquilla mayor, orientada perpendicularmente al eje de la vía (EMCALI, 2012).
- Se debe ubicar el hidrante en lo posible en zona verde (EMCALI, 2012).
- "Se debe asegurar la base del hidrante con un anclaje de concreto" (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

- “Los elementos que componen el hidrante se deben anclar por separado para que la tubería no soporte el peso de los accesorios y se pueda realizar mantenimiento por separado a cada una de las piezas” (EMCALI, 2012).
- “Una vez instalado el hidrante se debe limpiar la zona de excavación, cemento o concreto que haya quedado en el hidrante o en las bridas” (EMCALI, 2012).
- Todos los hidrantes llevarán una válvula auxiliar de compuerta la cual cumplirá la especificación NEGC 702.1 y se instalará sobre la tubería de acero o PVC que conecta la red de distribución con el hidrante. La tubería se ceñirá a las normas establecidas en la especificación NEGC 701 y su diámetro será igual al del hidrante (Empresas Públicas de Medellín, s.f.).

En la siguiente ilustración se presentan las partes más importantes de un hidrante y el resultado de una correcta instalación.



**Ilustración 12. Partes de un hidrante. Fuente: ASEPEYO, s.f.**

Para encontrar el costo asociado a la instalación de los hidrantes se empleó el generador de precios de Colombia, con el cual se obtiene una relación entre la mano de obra requerida y los materiales. Para el mejoramiento de la red se proponen hidrantes de 4" (100 mm) y 6" (150 mm), por lo tanto se presentan los costos encontrados para cada tipo de hidrante.

**Tabla 40. Análisis de costo de instalación de hidrante nuevo de 100 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Ud      Hidrante.		Hidrante de columna seca de 4" DN 100 mm, con toma curva, carrete de 500 mm, baño de aceite, racores y tapones contra robo de hierro.			
Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor parcial
1		<b>Materiales</b>			
mt41hid010dqf	Ud	Hidrante de columna seca de 4" DN 100 mm, con toma curva a la red, carrete de 500 mm, mecanismo de accionamiento con baño de aceite, una boca de 4" DN 100 mm, dos bocas de 2 1/2" DN 70 mm, racores y tapones contra robo de hierro.	1,000	4'144.338,39	4'144.338,39
			Subtotal materiales:		<b>4'144.338,39</b>
2		<b>Mano de obra</b>			
mo008	h	Oficial 1ª plomero.	0,832	11.414,19	9.496,61
mo107	h	Ayudante plomero.	0,832	8.115,92	6.752,45
			Subtotal mano de obra:		<b>16.249,06</b>
3		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	2,000	4'160.587,45	83.211,75
Coste de mantenimiento decenal: \$ 8.911.978,32 en los primeros 10 años.			<b>Costos directos (1+2+3):</b>		<b>4'243.799,20</b>

**Tabla 41. Análisis de costo de instalación de hidrante nuevo de 150 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Ud		Hidrante.			
Hidrante de columna seca de 6" DN 150 mm, con toma curva, carrete de 500 mm, baño de aceite, racores y tapones contra robo de hierro.					
Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor parcial
1		<b>Materiales</b>			
mt41hid010 fqf	Ud	Hidrante de columna seca de 6" DN 150 mm, con toma curva a la red, carrete de 500 mm, mecanismo de accionamiento con baño de aceite, una boca de 4" DN 100 mm, dos bocas de 2 1/2" DN 70 mm, racores y tapones contra robo de hierro.	1,000	4'432.227,47	4'432.227,47
Subtotal materiales:					<b>4'432.227,47</b>
2		<b>Mano de obra</b>			
mo008	h	Oficial 1ª plomero.	0,832	11.414,19	9.496,61
mo107	h	Ayudante plomero.	0,832	8.115,92	6.752,45
Subtotal mano de obra:					<b>16.249,06</b>
3		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	2,000	4'448.476,53	88.969,53
Coste de mantenimiento decenal: \$ 9.528.636,73 en los primeros 10 años.			<b>Costos directos (1+2+3): 4'537.446,06</b>		

Para la sustitución de los hidrantes de 75 mm que no cumplen la normatividad evaluada, se emplea el mismo costo, pero se asume que el tiempo que la mano de obra requiere para retirar el hidrante de 75 y reemplazarlo, es el doble del establecido para la instalación de un nuevo hidrante.

**Tabla 42. Análisis de costo de sustitución de hidrante de 75 mm a 100 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Ud		Hidrante.			
Hidrante de columna seca de 4" DN 100 mm, con toma curva, carrete de 500 mm, baño de aceite, racores y tapones contra robo de hierro.					
Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor parcial
1		Materiales			
mt41hid010 dcf	Ud	Hidrante de columna seca de 4" DN 100 mm, con toma curva a la red, carrete de 500 mm, mecanismo de accionamiento con baño de aceite, una boca de 4" DN 100 mm, dos bocas de 2 1/2" DN 70 mm, racores y tapones contra robo de hierro.	1,000	4'144.338,39	4'144.338,39
			Subtotal materiales:		4'144.338,39
2		Mano de obra			
mo008	h	Oficial 1ª plomero.	1,664	11.414,19	18.993,21
mo107	h	Ayudante plomero.	1,664	8.115,92	13.504,9
			Subtotal mano de obra:		32.498,11
3		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	2,000	4'176.836,45	83.536,73
Coste de mantenimiento decenal: \$ 8.911.978,32 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		4'260.373,23

**Tabla 43. Análisis de costo de sustitución de hidrante de 75 mm a 150 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Ud		Hidrante.			
Hidrante de columna seca de 6" DN 150 mm, con toma curva, carrete de 500 mm, baño de aceite, racores y tapones contra robo de hierro.					
Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor parcial
1		Materiales			
mt41hid01 Ofqf	Ud	Hidrante de columna seca de 6" DN 150 mm, con toma curva a la red, carrete de 500 mm, mecanismo de accionamiento con baño de aceite, una boca de 4" DN 100 mm, dos bocas de 2 1/2" DN 70 mm, racores y tapones contra robo de hierro.	1,000	4'432.227,47	4'432.227,47
			Subtotal materiales:		4'432.227,47
2		Mano de obra			
mo008	h	Oficial 1ª plomero.	1,664	11.414,19	18.993,21
mo107	h	Ayudante plomero.	1,664	8.115,92	13.504,9
			Subtotal mano de obra:		32.498,11
3		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	2,000	4'464.725,58	89.294,51
Coste de mantenimiento decenal: \$ 9.528.636,73 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		4'554.020,09

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

En el siguiente ejemplo de pliego de condiciones se presentan las características técnicas de la instalación evaluada, el proceso de ejecución y demás criterios considerados en la elaboración de los costos directos.

**Tabla 44. Pliego de condiciones. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

<p><b>HIDRANTE.</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>  Suministro e instalación de hidrante <b>de columna seca de 6" DN 150 mm, con toma curva a la red, carrete de 500 mm, mecanismo de accionamiento con baño de aceite, una boca de 4" DN 100 mm, dos bocas de 2 1/2" DN 70 mm, racores y tapones contra robo de hierro.</b> Incluso elementos de fijación. Totalmente montado, conexionado y probado.</p> <p><b>CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO</b>  Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p><b>CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LOS ÍTEMS</b></p> <p><b>DEL SOPORTE.</b>  Se comprobará que su situación se corresponde con la de Proyecto y que la zona de ubicación está completamente terminada.</p> <p><b>DEL CONTRATISTA.</b>  Las instalaciones se ejecutarán por empresas instaladoras autorizadas para el ejercicio de la actividad.</p> <p><b>PROCESO DE EJECUCIÓN</b></p> <p><b>FASES DE EJECUCIÓN.</b>  Replanteo del hidrante, coordinado con el resto de instalaciones o elementos que puedan tener interferencias. Conexión a la red de distribución de agua.</p> <p><b>CONDICIONES DE TERMINACIÓN.</b>  La accesibilidad por parte del servicio de bomberos será adecuada.</p> <p><b>MEDIDA Y FORMA DE PAGO</b>  Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 6.2 INSTALACIÓN Y SUSTITUCIÓN DE TUBERÍAS

Para instalar y sustituir las tuberías en una red de distribución perteneciente a Empresas Públicas de Medellín se deben seguir las Normas y Especificaciones Generales de Construcción "NEGC 704". Adicionalmente, se deben considerar los criterios estipulados por las Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de Empresas Públicas de Medellín, que especifican por ejemplo, la profundidad de instalación de las tuberías a cota clave.



Para el mejoramiento propuesto se realiza la suposición de que todas las tuberías se instalarán bajo pavimento, por tanto se debe cumplir que la profundidad mínima sea de 1.2 metros. (Empresas Públicas de Medellín E.S.P, 2013). Como no se conoce la profundidad a la cual se encuentran las tuberías, se asumirá una profundidad de 1.3 metros y una distancia de 10 cm entre el borde de la tubería y las paredes laterales de la zanja de excavación. Adicionalmente, se incrementó un 30% el precio de la tubería por conceptos de accesorios y piezas adicionales (CYPE Ingenieros, s.f.).

A continuación se presentan los costos de instalación de una tubería en una red de distribución, considerando que se tienen diferentes diámetros (100, 150 y 200 mm), por tanto se debe variar el precio de la tubería y los tenores de los ítem de excavación.

**Tabla 45. Análisis de costo de reemplazo de tubería de 150 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Suministro y montaje de tubería para alimentación de agua potable, <b>enterrada</b> , formada por <b>tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC) RDE 32.5, de 150 mm de diámetro, colocado sobre cama o lecho de arena de 10 cm de espesor, en el fondo de la zanja previamente excavada, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería.</b> Incluso parte proporcional de accesorios y piezas especiales, y demás material auxiliar. Totalmente montada, conexiónada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio (incluidas en este precio). UN: ml				
Actividad	UN	Tenor	\$/UN	\$
Rotura de pavimento	m	1,00	\$ 21.620	\$ 21.620
Excavación brechas	m <sup>3</sup>	0,455	\$ 15.774	\$ 7.177
M.O Instalación tubería	m	1,00	\$ 10.955	\$ 10.955
Lleno compactado material excavación	m <sup>3</sup>	0,455	\$ 15.223	\$ 6.926
Arena de 0 a 5 mm de diámetro	m <sup>3</sup>	0,07	\$ 26.078	\$ 1.825
Pavimento Parcheo vía	m <sup>2</sup>	0,35	\$ 57.500	\$ 20.125
Tubería PVC 6"x6m	m	0,17	\$ 342.138	\$ 58.163
			<b>Total</b>	<b>\$ 126.793</b>

**Tabla 46. Análisis de costo de instalación de tubería de 100 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Suministro y montaje de tubería para alimentación de agua potable, **enterrada**, formada por **tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC) RDE 21, de 100 mm de diámetro, colocado sobre cama o lecho de arena de 10 cm de espesor, en el fondo de la zanja previamente excavada, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería.** Incluso parte proporcional de accesorios y piezas especiales, y demás material auxiliar. Totalmente montada, conexcionada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio (incluidas en este precio).  
UN: ml

Actividad	UN	Tenor	\$/UN	\$
Rotura de pavimento	m	1,00	\$ 21.620	\$ 21.620
Excavación	m <sup>3</sup>	0,39	\$ 15.774	\$ 6.152
M.O Instalación tubería	m	1,00	\$ 6.500	\$ 6.500
Lleno material excavación	m <sup>3</sup>	0,39	\$ 15.223	\$ 5.937
Arena de 0 a 5 mm de diámetro	m <sup>3</sup>	0,06	\$ 26.078	\$ 1.565
Pavimento Parcheo vía	m <sup>2</sup>	0,3	\$ 57.500	\$ 17.250
Tubería PVC 4"x6m	m	0,17	\$ 240.508	\$ 40.886
Total				\$ 99.910

**Tabla 47. Análisis de costo de instalación de tubería de 200 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Suministro y montaje de tubería para alimentación de agua potable, **enterrada**, formada por **tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC) RDE 21, de 200 mm de diámetro, colocado sobre cama o lecho de arena de 10 cm de espesor, en el fondo de la zanja previamente excavada, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería.** Incluso parte proporcional de accesorios y piezas especiales, y demás material auxiliar. Totalmente montada, conexcionada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio (incluidas en este precio).  
UN: ml

Actividad	UN	Tenor	\$/UN	\$
Rotura de pavimento	m	1,00	\$ 21.620	\$ 21.620
Excavación	m <sup>3</sup>	0,52	\$ 15.774	\$ 8.202
M.O Instalación tubería	m	1,00	\$ 14.862	\$ 14.862
Lleno material excavación	m <sup>3</sup>	0,52	\$ 15.223	\$ 7.916
Arena de 0 a 5 mm de diámetro	m <sup>3</sup>	0,08	\$ 26.078	\$ 2.086
Pavimento Parcheo vía	m <sup>2</sup>	0,4	\$ 57.500	\$ 23.000
Tubería PVC 8"x6m	m	0,17	\$ 525.157	\$ 89.277
Total				\$ 166.963

Para la sustitución de tuberías se realiza el mismo procedimiento que para instalar una nueva, sólo que se requiere que el personal después de excavada la zanja retire la tubería que se encontraba en funcionamiento y conecte la nueva. Por lo tanto, el costo de la mano de obra de la instalación es doble, ya que el personal debe realizar dos veces la actividad. Así los costos de reemplazo de tubería, según su diámetro son los siguientes.

**Tabla 48. Análisis de costo de sustitución de tubería conectada a la red de distribución por nueva de 150 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Suministro y montaje de tubería para alimentación de agua potable, **enterrada**, formada por **tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC) RDE 32.5, de 150 mm de diámetro, colocado sobre cama o lecho de arena de 10 cm de espesor, en el fondo de la zanja previamente excavada, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería.** Incluso parte proporcional de accesorios y piezas especiales, y demás material auxiliar. Totalmente montada, conexcionada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio (incluidas en este precio).  
UN: ml

Actividad	UN	Tenor	\$/UN	\$
Rotura de pavimento	m	1,00	\$ 21.620	\$ 21.620
Excavación brechas	m <sup>3</sup>	0,455	\$ 15.774	\$ 7.177
M.O Instalación tubería	m	1,00	\$ 21.910	\$ 21.910
Lleno compactado material excavación	m <sup>3</sup>	0,455	\$ 15.223	\$ 6.926
Arena de 0 a 5 mm de diámetro	m <sup>3</sup>	0,07	\$ 26.078	\$ 1.825
Pavimento Parcheo vía	m <sup>2</sup>	0,35	\$ 57.500	\$ 20.125
Tubería PVC 6"x6m	m	0,17	\$ 342.138	\$ 58.163
			<b>Total</b>	<b>\$ 137.748</b>

**Tabla 49. Análisis de costo de sustitución de tubería conectada a la red de distribución por nueva de 100 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Suministro y montaje de tubería para alimentación de agua potable, **enterrada**, formada por **tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC) RDE 21, de 100 mm de diámetro, colocado sobre cama o lecho de arena de 10 cm de espesor, en el fondo de la zanja previamente excavada, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería.** Incluso parte proporcional de accesorios y piezas especiales, y demás material auxiliar. Totalmente montada, conexcionada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio (incluidas en este precio).  
UN: ml

Actividad	UN	Tenor	\$/UN	\$
Rotura de pavimento	m	1,00	\$ 21.620	\$ 21.620
Excavación	m <sup>3</sup>	0,39	\$ 15.774	\$ 6.152
M.O Instalación tubería	m	1,00	\$ 13.000	\$ 13.000
Lleno material excavación	m <sup>3</sup>	0,39	\$ 15.223	\$ 5.937
Arena de 0 a 5 mm de diámetro	m <sup>3</sup>	0,06	\$ 26.078	\$ 1.565
Pavimento Parcheo vía	m <sup>2</sup>	0,3	\$ 57.500	\$ 17.250
Tubería PVC 4"x6m	m	0,17	\$ 240.508	\$ 40.886
			<b>Total</b>	<b>\$ 106.410</b>

**Tabla 50. Análisis de costo de sustitución de tubería conectada a la red de distribución por nueva de 200 mm. Fuente: Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.**

Suministro y montaje de tubería para alimentación de agua potable, **enterrada**, formada por **tubo de policloruro de vinilo clorado (PVC) RDE 21, de 200 mm de diámetro, colocado sobre cama o lecho de arena de 10 cm de espesor, en el fondo de la zanja previamente excavada, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería.** Incluso parte proporcional de accesorios y piezas especiales, y demás material auxiliar. Totalmente montada, conexiónada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio (incluidas en este precio).  
UN: ml

Actividad	UN	Tenor	\$/UN	\$
Rotura de pavimento	m	1,00	\$ 21.620	\$ 21.620
Excavación	m <sup>3</sup>	0,52	\$ 15.774	\$ 8.202
M.O Instalación tubería	m	1,00	\$ 29.723	\$ 29.723
Lleno material excavación	m <sup>3</sup>	0,52	\$ 15.223	\$ 7.916
Arena de 0 a 5 mm de diámetro	m <sup>3</sup>	0,08	\$ 26.078	\$ 2.086
Pavimento Parcheo vía	m <sup>2</sup>	0,4	\$ 57.500	\$ 23.000
Tubería PVC 8"x6m	m	0,17	\$ 525.157	\$ 89.277
<b>Total</b>				<b>\$ 181.825</b>

### 6.3 COSTO PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Los costos totales relacionados con el plan de implementación propuesto se presentan en la siguiente tabla. Estos fueron hallados en el caso de tuberías, multiplicando la longitud requerida por el costo unitario presentado anteriormente, mientras que para los hidrantes se clasificó el elemento según su diámetro, se le asignó el precio y se sumaron todos los valores de las unidades demandadas.

**Tabla 51. Costo del plan de implementación propuesto.**

1. Instalación de tuberías nuevas	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Costo (ml)	Costo total
1	100	200	\$ 166.963	\$ 16.696.306
2	268,65	200	\$ 166.963	\$ 44.854.625
3	100	150	\$ 126.793	\$ 12.679.254
4	1,5	200	\$ 166.963	\$ 250.445
5	1,5	150	\$ 126.793	\$ 190.189
8	1,5	150	\$ 126.793	\$ 190.189
9	1,5	150	\$ 126.793	\$ 190.189
12	1,5	100	\$ 99.910	\$ 149.865
13	1,5	100	\$ 99.910	\$ 149.865
<b>Total</b>				<b>\$ 75.350.925</b>

2. Sustitución tuberías	Diámetro actual (mm)	Diámetro mejorado (mm)	Longitud (m)	Costo (ml)	Costo total
5955	100	150	23,61	\$ 137.748	\$ 3.252.219
6	100	100	25,00	\$ 106.410	\$ 2.660.246
7	100	100	50,89	\$ 106.410	\$ 5.415.197
3252	75	200	26,27	\$ 181.825	\$ 4.776.536
563	100	200	1,17	\$ 181.825	\$ 212.735
445	100	200	0,96	\$ 181.825	\$ 174.552
568	100	200	1,19	\$ 181.825	\$ 216.371
2775	100	200	10,65	\$ 181.825	\$ 1.936.433
3102	100	200	18,23	\$ 181.825	\$ 3.314.665
2953	75	100	12,04	\$ 106.410	\$ 1.281.174
3581	75	100	43,46	\$ 106.410	\$ 4.624.571
5153	100	150	0,72	\$ 137.748	\$ 99.178
411	100	200	0,88	\$ 181.825	\$ 160.006
3729	100	200	57,74	\$ 181.825	\$ 10.498.560
838	100	200	1,53	\$ 181.825	\$ 278.192
695	100	200	1,39	\$ 181.825	\$ 252.736
1248	100	200	2,58	\$ 181.825	\$ 469.108
692	100	200	1,38	\$ 181.825	\$ 250.918
2778	100	200	10,69	\$ 181.825	\$ 1.943.706
2993	100	150	13,98	\$ 137.748	\$ 1.925.711
674	75	150	1,35	\$ 137.748	\$ 185.959
3413	75	100	35,00	\$ 106.410	\$ 3.724.344
5170	100	150	1,25	\$ 137.748	\$ 172.184
6016	150	200	86,38	\$ 181.825	\$ 15.706.020
6004	150	200	5,31	\$ 181.825	\$ 965.489
6012	100	200	34,14	\$ 181.825	\$ 6.207.496
6003	100	200	5,17	\$ 181.825	\$ 940.034
5998	100	200	2,40	\$ 181.825	\$ 436.379
6000	100	200	3,03	\$ 181.825	\$ 550.929
6007	100	200	21,53	\$ 181.825	\$ 3.914.686
5177	100	150	1,40	\$ 137.748	\$ 192.847
453	100	150	1,00	\$ 137.748	\$ 137.748
5066	75	150	5,60	\$ 137.748	\$ 771.386
6001	100	150	3,20	\$ 137.748	\$ 440.792
5950	100	150	7,20	\$ 137.748	\$ 991.782
5233	75	100	3,71	\$ 106.410	\$ 394.780
4005	100	200	79,58	\$ 181.825	\$ 14.469.612
3123	100	200	19,23	\$ 181.825	\$ 3.496.490
<b>Total</b>					<b>\$ 97.441.772</b>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

3. Instalación hidrantes nuevos	Diámetro (mm)	Costo
59	150	\$ 4.537.446,06
66	150	\$ 4.537.446,06
67	150	\$ 4.537.446,06
77	150	\$ 4.537.446,06
78	100	\$ 4.243.799,20
89	100	\$ 4.243.799,20
<b>Total</b>		\$ 26.637.382,64

4. Sustitución hidrantes	Diámetro (mm)	Costo
16	150	\$ 4.554.020,09
18	150	\$ 4.554.020,09
24	100	\$ 4.260.373,23
<b>Total</b>		\$ 13.368.413,41

**Tabla 52. Resumen costos del plan de implementación para mejorar la red contra incendios de los barrios estudiados.**

**Resumen costos**

1. Instalación de tuberías nuevas	\$ 75.350.925,28
2. Sustitución tuberías	\$ 97.441.772,47
3. Instalación hidrantes nuevos	\$ 26.637.382,64
4. Sustitución hidrantes	\$ 13.368.413,41
<b>Total</b>	\$ 212.798.493,80

## **7. PLAN DE SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO**

### **Mantenimiento de los hidrantes según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y la norma de Empresas Públicas de Medellín**

Para el mantenimiento de los hidrantes debe tenerse en cuenta lo establecido en el Artículo 77 de la Ley 9 de 1979, o la norma que la adicione, modifique o sustituya, el cual establece: “Los hidrantes y extremos muertos de la red de distribución de agua deben abrirse con la frecuencia necesaria para eliminar sedimentos. Periódicamente debe comprobarse que los hidrantes funcionen adecuadamente”. De acuerdo con este artículo, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010):

- Para el nivel de complejidad del sistema bajo, los hidrantes deben revisarse una vez cada año.
- Para el nivel de complejidad del sistema medio, los hidrantes deben revisarse una vez cada seis meses.
- Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, los hidrantes deben revisarse una vez cada tres meses. La revisión de los hidrantes debe ser hecha por la entidad prestadora del servicio público de acueducto.

En el caso del nivel de complejidad del sistema alto, y haciendo uso del modelo de simulación hidráulica de la red de distribución de agua potable, se debe establecer un programa en el cual se diga la hora del día en la cual la apertura de hidrantes y la limpieza de zonas muertas es óptima para establecer simultáneamente el tiempo de duración de la apertura y el tiempo de lavado de esta zona de la red de distribución. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010)

El nivel de complejidad de la zona de estudio es alto, por lo tanto los hidrantes deben revisarse cada tres meses. En las visitas de campo se logró identificar que los hidrantes no reciben el mantenimiento adecuado, lo cual es preocupante, ya que para asegurar un

correcto funcionamiento de la red contra incendios, se debe realizar el plan de seguimiento estipulado.

La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, NFPA por sus siglas en inglés, establece que los hidrantes deben probarse anualmente para garantizar su funcionamiento adecuado. Para esto cada hidrante se debe abrir completamente y dejar fluir el agua hasta que se haya limpiado de todas las materias extrañas. El flujo debe mantenerse durante no menos de 1 minuto (Organización Internacional de Códigos y Normas, 2002).

Para cumplir el RAS y la norma de EPM se propone realizar el siguiente plan de seguimiento a los hidrantes, teniendo en cuenta que siempre se deben emplear las llaves de accionamiento del hidrante.

#### **Inspecciones cada 3 meses:**

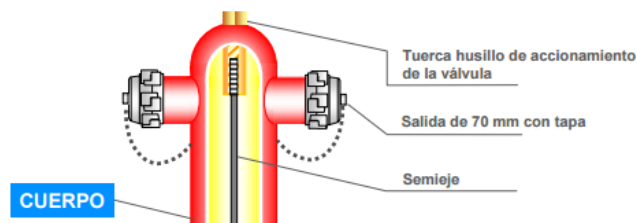
1. Inspeccionar visualmente el hidrante, así como su señalización, accesibilidad y marcas y/o etiquetas de identificación.
2. Comprobar que la tuerca de accionamiento no está dañada, revisar los racores y asegurarse de que sus tapas se pueden retirar.
3. Evidenciar que el drenaje está en buenas condiciones sin suciedad que lo pudiera obstruir.
4. Inspeccionar la pintura, retirar aquella desprendida y volver a pintar si es necesario.  
El proceso de pintura, consiste en una primera fase de imprimación sintética con fosfato de zinc, que evita que la pintura se desprenda, continuando, con una capa de hasta 150 micras de poliuretano, consiguiendo la durabilidad del color y la resistencia a los impactos. (Anber Globe S.A, s.f.)

#### **Inspecciones cada 6 meses**

1. Desmontar el husillo del hidrante y engrasar las roscas.

**Importante:** “Abrir un hidrante rápidamente podría causar fluctuaciones de presión, por esto los hidrantes deben ser abiertos despacio, una vuelta cada segundo, hasta que esté completamente abierto” (Anber Globe S.A, s.f.).





**Ilustración 13. Husillo de accionamiento de la válvula de un hidrante. Fuente: ASEPEYO, s.f.**

2. “Con la válvula completamente abierta, dejar las bocas abiertas para que salga el aire. Cuando el aire haya salido completamente y fluya el agua, tapar las bocas y comprobar si hay fugas en racores, brida de conexión, drenaje y juntas” (ASEPEYO, s.f.).
3. Cerrar completamente la válvula principal.

**Importante:** Cerrar los hidrantes es crítico y se debe hacer despacio, una vuelta cada segundo, debido a que se pueden causar aumentos de presión o golpe de ariete, y se puede debilitar la red (ASEPEYO, s.f.).

4. Comprobar que el agua no pasa y el hidrante es estanco a la presión de la instalación. Esto se evalúa colocando la palma de la mano firmemente sobre uno de los racores de salida. Se debe sentir una succión fuerte que indique que el hidrante está drenando apropiadamente (ASEPEYO, s.f.).
5. Colocar y apretar las tapas de los racores de salida, considerado que el hidrante debe ser completamente drenado. No se deben apretar fuertemente las tapas, pues se podría afectar el drenaje.
6. Limpiar el hidrante si es necesario.
7. Registrar todas estas operaciones.

“Adicionalmente se recomienda comprobar anualmente los caudales y presiones de diseño en el punto hidráulicamente más desfavorable de la red, estando en funcionamiento el número total de salidas determinadas por la superficie del sector de incendio y el nivel de riesgo” (ASEPEYO, s.f.).

## **8. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES**

- El estudio de cobertura realizado con la herramienta ArcGIS y la información primaria obtenida con la ayuda de Empresas Públicas de Medellín facilitó la identificación de los dos barrios más desprotegidos del occidente de Envigado, los cuales resultaron ser Las Vegas y Alcalá, con una cobertura de 74,54% y 94,77% respectivamente.
- Según los resultados obtenidos del análisis de cobertura desarrollado, los 10 barrios de la zona de estudio tienen un porcentaje de cobertura cercano al 100%, exceptuando Las Vegas, caracterizado por llevar a cabo actividades industriales. Es por esto que se insiste en que es importante que se proceda a mejorar la cobertura de la red contra incendios en este sector y adicionalmente que se revisen los sistemas de protección internos, debido a que las industrias ubicadas allí tienen grandes áreas que la red de distribución externa no alcanza a cubrir.
- Gracias al diagnóstico de la red contra incendios de los dos barrios seleccionados en el circuito El Dorado se encontró que los criterios de color, presión, diámetro y caudal estipulados por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y por la norma de Empresas Públicas de Medellín no son cumplidos por la totalidad de los hidrantes de la zona de estudio.
- Se identificó que no se tiene constante comunicación entre la entidad prestadora del servicio de acueducto y el Cuerpo de Bomberos, por lo que se recomienda mejorar en este aspecto, pues es más fácil mantener la red contra incendios en buen estado si ambas entidades velan por su cuidado.
- Para cumplir con el nivel de servicio demandado por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico se propone instalar nuevos hidrantes y reemplazar aquellos que no cumplan con el diámetro mínimo. Adicionalmente, aumentar el diámetro en tuberías de abastecimiento e instalar nuevos tramos en la red de distribución.
- La Norma Sismo Resistente que regía el diseño de las edificaciones anteriormente no exigía protección contra incendios, por lo que las construcciones basadas en esta normatividad no cumplen lo estipulado por la NSR-10. Debido a esto, se concluye que es necesario la revisión de la cobertura contra incendios de las edificaciones

especiales como centros educativos y bodegas de almacenamiento en los demás barrios de la parte occidental del municipio de Envigado.

- Los costos asociados al plan de mejoramiento de la red contra incendios equivalen aproximadamente a 212'800.000 pesos, sin considerar el transporte de los materiales requeridos para la instalación.
- En las visitas de campo se logró identificar que a los hidrantes no se les hace un seguimiento constante y probablemente hay acumulación de sedimentos en la red, por tanto se sugiere a la entidad prestadora del servicio de acueducto que se comiencen a realizar pruebas de flujo y mantenimiento de los hidrantes para asegurar que tengan un funcionamiento adecuado.
- Es importante que se verifique el modelo del circuito El Dorado, debido a que se encontraron presiones mayores a 50 m.c.a, las cuales superan el límite establecido por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS para la presión en redes de distribución.
- Se sugiere que para un estudio posterior se evalúe la cobertura de la red contra incendios por circuitos, debido a que el sistema de acueducto se encuentra dividido por zonas de distribución que abastecen varios barrios y en ocasiones un barrio puede ser alimentado de agua potable por diferentes circuitos.

## BIBLIOGRAFÍA

- "Extinción de Incendios: Hidrantes". (s.f.). Recuperado el 24 de Enero de 2016, de Guía de la Seguridad: <http://www.guiadelaseguridad.com.ar/home.htm>
- Alcaldía de Envigado. (Julio de 2011). Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de Diagnóstico Zonal: Zona 8: <http://www.envigado.gov.co/Secretarias/OficinaAsesoradePlaneacion/documentos/SLP/Planes%20Zonales/PLAN%20ZONAL%208/DIAGN%C3%93STICO%20ZONAL%208.pdf>
- Alcaldía de Envigado. (s.f.). *Así Es Envigado*. Recuperado el 14 de Octubre de 2015, de <http://www.envigado.gov.co/AsiesEnvigado/Paginas/AsiesEnvigado.aspx>
- Anber Globe S.A. (s.f.). *Anber Globe Equipos Contra Incendios*. Obtenido de Hidrante Columna Seca "Supertifón": [http://anberglobe.com/html/descarga/hidrantes/columna\\_seca/es\\_supertifon.pdf](http://anberglobe.com/html/descarga/hidrantes/columna_seca/es_supertifon.pdf)
- ASEPEYO. (s.f.). ASEPEYO. Obtenido de Sistemas de Hidrantes Exteriores: [http://prevencion.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/PPI0708021%20Sistemas%20de%20hidrantes%20exteriores%20PPT.pdf/\\$file/PPI0708021%20Sistemas%20de%20hidrantes%20exteriores%20PPT.pdf](http://prevencion.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/PPI0708021%20Sistemas%20de%20hidrantes%20exteriores%20PPT.pdf/$file/PPI0708021%20Sistemas%20de%20hidrantes%20exteriores%20PPT.pdf)
- BOTTA, N. A. (Julio de 2011). *Red Proteger*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de Diseño de Sistemas de Protección por Hidrantes: [http://www.redproteger.com.ar/editorialredproteger/serieredincendio/36\\_Disen%C3%B3\\_Sistema\\_Hidrantes\\_Fijos\\_2a\\_edici%C3%B3n\\_julio2011.pdf](http://www.redproteger.com.ar/editorialredproteger/serieredincendio/36_Disen%C3%B3_Sistema_Hidrantes_Fijos_2a_edici%C3%B3n_julio2011.pdf)
- Castillo Cuevas, Á., Tedde, C., Martínez Vidal, I., & Segura Gútierrez, F. (2010). *Universidad Politécnica de Cartagena*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2015, de Instalación contra Incendios: <http://www.upct.es/~orientap/Protec%20CC2.pdf>
- CYPE Ingenieros. (s.f.). *Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de Generador de precios: <http://www.colombia.generadordeprecios.info/fabricantes/>
- DANE. (s.f.). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)*. Obtenido de Proyecciones de Población Municipales: [https://www.dane.gov.co/files/.../poblacion/...20/ProyeccionMunicipios2005\\_2020.xls](https://www.dane.gov.co/files/.../poblacion/...20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls)
- EMCALI. (Junio de 2012). *EMCALI*. Obtenido de Instalación y/o reposición de hidrantes y sistema para valvulas en redes secundarias de distribución de acueducto: <http://www.emcali.com.co/documents/11733/94313/NCO-SE-DA-006+Insta+hidrantes+y+sist+valv>
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (2013). *Normas de Diseño de Acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.* Medellín.

Empresas Públicas de Medellín. (s.f.). *Normas y Especificaciones Generales de Construcción*. Obtenido de Hidrantes: <https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/703.pdf>

Empresas Públicas de Medellín. (s.f.). *Sistema de Acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.* Medellín.

EXPOWER. (s.f.). Recuperado el 23 de Septiembre de 2015, de El hidrante: <http://www.expower.es/hidrante-incendios.htm>

Iglesias Rey, P. L. (s.f.). *Epanet 2.0*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2015, de <http://www.instagua.upv.es/Epanet/>

León Toro, J. D. (Diciembre de 2011). *POT Municipio de Envigado 2011-2023*. Recuperado el 28 de Mayo de 2016, de Sistema de Documentación e Información Municipal: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Imagenes/adoptarevisi%C3%B3nyajusteplan%20ordenamientoterritorialacuerdo10envigadoantioquia2011.pdf>

Mejía Garcés, F. J. (2009). *Mecánica de Fluidos y Recursos Hidráulicos de Agua*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2015, de Bombas (pumps): <http://fluidos.eia.edu.co/lhidraulica/guias/bombas/Bombas.html>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2015, de <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/10titulo-j-nsr-100.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS*. Bogotá.

Morgado Durán, J. J. (Octubre de 2009). *Prueba de caudal en hidrantes*. Obtenido de <http://mantenimientopci.com/imagenes/pdf/15%20%20Prueba%20caudal%20Hidrantes%20Intro.pdf>

Oficina Asesora de Planeación. (2011). *Municipio de Envigado*. Recuperado el 2 de Junio de 2016, de Usos principales del suelo urbano: <http://www.envigado.gov.co/Secretarias/OficinaAsesoradePlaneacion/documentos/POT/CARTOGRAFIA/FORMULACION/Usos%20Principales%20de%20Suelo%20Urbano%20%20UF-04.pdf>

Organización Internacional de Códigos y Normas. (2002). *NFPA 25: Inspección, Prueba y Mantenimiento de Protección Contra Incendios a Base de Agua*. Obtenido de [http://sstdevenezuela.com/79\\_NFPA%2025%20Inspeccion,%20Prueba%20y%20Mantenimiento%20de%20Sistemas%20de%20Proteccion%20Contra%20incendios%20a%20Base%20de%20Agua.pdf](http://sstdevenezuela.com/79_NFPA%2025%20Inspeccion,%20Prueba%20y%20Mantenimiento%20de%20Sistemas%20de%20Proteccion%20Contra%20incendios%20a%20Base%20de%20Agua.pdf)

Palacio, L. F. (Diciembre de 2005). *Bomberos de Envigado*. Obtenido de <http://bomberosenvigado.8k.com/principal.html>

Real Academia Española. (s.f.). *Real Academia Española*. Recuperado el 24 de Enero de 2016, de <http://dle.rae.es/>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA

Vera Sarmiento, M. A. (2010). *Universidad Industrial de Santander*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2015, de [repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6559/2/133246.pdf](http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6559/2/133246.pdf)

Viana, C. (s.f.). *Mecánica de Fluidos y Recursos Hidráulicos*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2015, de Pérdidas en Válvulas: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/accesorioshidraulicos/valvulas/valvulas.html#Bibliografia>